

# Eisenführ, Speiser & Partner

Berlin,

11. Februar 2002

Unser Zeichen: FB1045 JVO/js  
Durchwahl: 030/841 887 0

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e.V.  
Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

## München

Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Phys. Heinz Nöth  
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritzsche  
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl  
Dipl.-Ing. Olaf Ungerer  
Patentanwalt  
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

## Alicante

European Trademark Attorney  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

## Berlin

Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Henning Christiansen  
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen  
Dipl.-Ing. Jutta Kaden  
Patentanwalt  
Dipl.-Phys. Dr. Andreas Theobald

## Pacelliallee 43/45

D-14195 Berlin  
Tel. +49-(0)30-841 8870  
Fax +49-(0)30-8418 8777  
Fax +49-(0)30-832 7064  
mail@eisenfuhr.com  
<http://www.eisenfuhr.com>

## Bremen

Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ  
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser  
Dr.-Ing. Werner W. Rabus  
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt  
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken  
Jochen Ehlers  
Dipl.-Ing. Mark Andres  
Dipl.-Chem. Dr. Uwe Stilkenböhmer  
Dipl.-Ing. Stephan Keck  
Dipl.-Ing. Johannes M. B. Wasiljeff  
Patentanwalt  
Dr.-Ing. Stefan Sasse

Rechtsanwälte  
Ulrich H. Sander  
Christian Spintig  
Harald A. Förster  
Sabine Richter

## Hamburg

Patentanwalt  
European Patent Attorney  
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte  
Rainer Böhm  
Nicol A. Schrömgens, LL.M.

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.  
Leonrodstraße 54, D-80636 München

Anordnung und Verfahren zur räumlichen Visualisierung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Graphikmastermodul, ein Graphikclientmodul und ein Bildumschaltmodul. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, sowie eine Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes.

Die Darstellung räumlich wirkender Bilder beruht auf der Wiedergabe zweier Teilbilder auf einem Bildschirm in Stereo-Projektion. Ein erstes Teilbild gibt eine Szene so wieder, wie sie das linke Auge eines Betrachters sehen würde, ein zweites Teil-

bild so, wie sie dem rechten Auge des Betrachters erscheinen würde. Der Betrachter sieht dabei durch eine Spezialbrille, die jedem Auge nur das dafür vorgesehene Bild übermittelt. Durch getrennte Wahrnehmung der Teilbilder mit dem linken und rechten Auge entsteht bei ihm der Eindruck einer räumlichen Wahrnehmung.

Dieser Effekt kann mit Hilfe aktiver oder passiver Stereo-Projektionsverfahren erzeugt werden. Aktive Verfahren projizieren mit hoher Frequenz (etwa 100Hz) abwechselnd Teilbilder für das linke und das rechte Auge. Der Betrachter trägt eine Filterbrille, deren Gläser einen veränderbaren Transmissionsgrad aufweisen. Das für das jeweilige Auge unerwünschte Teilbild wird abgeblendet, indem die Lichtdurchlässigkeit des betreffenden Glases zum Bildwechsel synchron auf einen niedrigen Wert geschaltet wird. Dies kann beispielsweise mit Hilfe von Infrarotsignalen durch das Bildberechnungs- und Ausgabesystem gesteuert werden. Aktive Verfahren haben den Vorteil, dass für jede Projektionsfläche grundsätzlich nur ein Projektor benötigt wird, der abwechselnd Teilbilder für das linke und das rechte Auge projiziert.

Passive Verfahren projizieren die Teilbilder für beide Augen gleichzeitig, jedoch mit unterschiedlicher Lichtpolarisation. Sie benötigen daher zwei Projektoren für jede Projektionsfläche, deren Teilbilder stets gleichzeitig auf die Projektionsfläche abgebildet werden und sich dort überlagern. Das Teilbild für das linke Auge kann beispielsweise horizontal und das Teilbild für das rechte Auge vertikal polarisiert sein. Auch links- und rechtszirkulare Polarisation wird verwendet. Der Betrachter trägt wiederum eine Filterbrille, deren Gläser jeweils nur Licht einer Polarisationsrichtung durchlassen. Im erstgenannten Beispiel ließe das linke Brillenglas nur horizontal polarisiertes Licht durch und das rechte Brillenglas nur vertikal polarisiertes Licht. Das für das jeweilige Auge unerwünschte Teilbild wird aufgrund seiner "falschen" Polarisation abgeblendet. Passive Stereoprojektionsverfahren können geringeren mit Bilderneuerungsfrequenzen als aktive Verfahren arbeiten, da jeder Projektor nur ein Auge bedient. Es werden beispielsweise Frequenzen von ca. 50Hz verwendet.

Es sind verschiedene Anordnungen mit unterschiedlicher Anzahl von Projektionsflächen bekannt. Werden zwei oder mehr Projektionsflächen verwendet, stehen diese in der Regel senkrecht zueinander, um ein möglichst großes Gesichtsfeld des Betrachters abzudecken und dadurch bei ihm einen realistischeren räumlichen

Eindruck zu erzielen. Auf jeder Projektionsfläche werden zwei Teilbilder abgebildet, von denen jedes jeweils einen Teil des Gesichtsfeldes eines Auges wiedergibt. Wird nicht nur auf vier senkrecht zueinander stehende Wänden, sondern auch noch auf Boden und Decke ein dreidimensional wirkendes Bild erzeugt, ist der räumliche optische Eindruck perfekt und der Betrachter meint, in die dargestellte Szene "eingetaucht" zu sein.

Für die Bildprojektion bei passiven Verfahren werden polarisationserhaltende Streuwände eingesetzt. Polarisationserhaltende Streuwände sind sowohl als rückstreuende wie auch als lichtdurchlässige, vorwärtsstreuende Anordnungen kommerziell erhältlich. Die Bildprojektion auf die Streuwand kann daher auch bei passiven Verfahren von der Seite des Betrachters her oder von der dem Betrachter abgewandten Seite der Streuwand her erfolgen.

Die Verwendung linear polarisierten Lichts mit zueinander senkrechten Schwingungsrichtungen des elektrischen Feldvektors hat bei den passiven Verfahren den Vorteil, dass die Unterdrückung der jeweils anderen Polarisationsrichtung durch die Brillengläser besonders stark ist. Jedoch steigt der Anteil des von beiden Brillengläsern transmittierten "falsch" polarisierten Lichts, wenn der Betrachter seinen Kopf neigt. Aus diesem Grund wird bei Anordnungen, die auch auf den Boden und/oder an die Decke ein dreidimensional wirkendes Bild werfen, grundsätzlich zirkular polarisiertes Licht verwendet. Der Nachteil dieser Methode ist die schlechtere Unterdrückung des jeweils "falsch" polarisierten Lichts.

Mittlerweile sind interaktive Projektionssysteme für dreidimensional wirkende Bilder bekannt, bei denen der Betrachter durch ein Eingabegerät die dargestellte Szene verändern kann. Beispielsweise kann der Betrachter seinen scheinbaren Standpunkt oder Blickwinkel relativ zur dargestellten räumlichen Szene durch entsprechende Steuerbefehle verändern und erhält so den Eindruck, sich innerhalb dieser Szene wie in einer wirklichen dreidimensionalen Umgebung zu bewegen.

Derartige interaktive Systeme weisen neben einer oder mehreren Projektionsflächen und einer entsprechenden Anzahl von Projektoren ein oder mehrere Eingabegeräte auf. Als Eingabegeräte dienen beispielsweise am Kopf des Betrachters befestigte Sensoren, die eine Bestimmung der Blickrichtung ermöglichen sowie Zeigegeräte oder Sensorhandschuhe. Eingabegerät und Projektoren sind mit einem

Graphikcomputer verbunden, der anhand der Signale des Eingabegerätes für jeden Projektor die nächste darzustellende Szene berechnet und an diesen ausgibt.

Ein besonders wichtiger Aspekt der Projektionssteuerung ist die Synchronisierung der Teilbildprojektion auf den unterschiedlichen Projektionsflächen. Zur Erzielung der räumlichen Wirkung müssen die verschiedenen Teilbilder für das linke Auge und für das rechte Auge auf allen Projektionsflächen jeweils gleichzeitig sichtbar sein. Das heißt, dass alle Teilbilder die Gesamtszene in einer und derselben Phase (denselben "Frame") zugleich darstellen müssen. Die Bildberechnung (das "Rendering") für die einzelnen Teilbilder darf also nicht "auseinanderlaufen", derart, dass ein Teilbild die Szene in einem weiter fort entwickelten Stadium darstellt als ein anderes.

Dieses Problem wird bei einem unter dem Markennamen "CAVE" bekannten, aktiven Stereo-Projektionssystem mit sechs Projektionsflächen durch ein integriertes Berechnungs- und Steuersystem für die zu projizierenden Teilbilder aller sechs Projektoren gelöst. Dieses System verwendet hierzu einen SGI Onyx2-Rechner von Silicon Graphics mit zwölf R10000 Prozessoren, 4 Gigabyte Arbeitsspeicher und einer Graphikeinheit mit drei InfiniteReality Graphics Pipes, von denen jede zwei Rastermanager mit 64 Megabyte Arbeitsspeicher umfasst.

Der Nachteil eines dieser Systems ist, dass das verwendete Berechnungs- und Steuersystem eine hoch entwickelte, aufwändige Spezialanfertigung ist, die kostenintensiv in ihrer Anschaffung und Wartung ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe anzugeben, die mit geringem Aufwand herstellbar ist.

Die Aufgabe erfindungsgemäß wird durch eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere unabhängige und jeweils selbstständig schutzwürdige Aspekte des Erfindungsgedankens bilden ein Graphikmastermodul mit den Merkmalen des Anspruchs 11, ein Graphikclientmodul mit den Merkmalen des Anspruchs 13, ein Bildumschaltmodul mit den Merkmalen des Anspruchs 15, eine Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die

zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit den Merkmalen des Anspruchs 17, eine Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit den Merkmalen des Anspruchs 24, sowie ein Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes, mit den Merkmalen des Anspruchs 35.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe weist eine Master-Client-Struktur auf. Eine Graphikmastereinheit - im folgenden auch kurz als Graphikmaster bezeichnet - und mindestens zwei Graphikclienteinheiten - kurz Graphikclients - sind über einen ersten Nachrichtenkanal miteinander verbunden und tauschen Nachrichten aus, mit denen eine Synchronisierung ihrer Prozesse erreicht wird. Der Erfindungsgedanke ermöglicht einen gegenüber bekannten Vorrichtungen wesentlich vereinfachten Aufbau, der die Herstellung der Vorrichtung auch mit geringem Aufwand ermöglicht.

Die Graphikmastereinheit weist einen ersten Schreiblesespeicher auf, in dem eine erste Szenengraphdatei abgelegt ist. Unter einer Szenengraphdatei wird eine Datei mit Definitionen in einem Bild darstellbarer Objekte und/oder Ereignisse verstanden, in den der Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zugeordnet werden. Szenengraphdateien können in unterschiedlichen Dateiformaten verfasst sein, beispielsweise in VRML, X3D, Inventor oder Perfomer. Der Schreiblesespeicher kann beispielsweise als RAM-Baustein ausgebildet sein, um die Schreib- und Leseprozesse besonders schnell durchführen zu können.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist vorzugsweise einen oder mehrere Signaleingänge auf für externe Eingabegeräte, über die beispielsweise ein Betrachter auf das dargestellte Bild Einfluss nehmen kann. Die Signaleingänge sind mit der Graphikmastereinheit verbunden und beeinflussen die von ihr zyklisch durchgeführte Neuberechnung der Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der ersten Szenengraphdatei, in die auch die bis dahin gültigen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten einfließen.

Während oder nach der Neuberechnung der Objekt- und Ereignisparameterwerte erzeugt der Graphikmaster eine erste Nachricht, die er anschließend über den

ersten Nachrichtenkanal an alle angeschlossenen Graphikclients sendet. Die erste Nachricht, auch Update-Nachricht genannt, enthält mindestens einen Teil der neu berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte. Nicht alle Parameterwerte müssen in jedem Zyklus an die Graphikclients übermittelt werden, wie weiter unten näher erläutert wird. Bei den übermittelten Objekt- und Ereignisparameterdaten handelt es sich beispielsweise um vom Graphikmaster neu berechnete Werte der Felder von Knoten einer im Dateiformat VRML (Virtual Reality Modeling Language) verfassten Szenengraphdatei.

Jede mit dem Graphikmaster verbundene Graphikclienteinheit - auch kurz als Graphikclient bezeichnet - weist zweiten Schreiblesespeicher auf, in den eine zweite Szenengraphdatei geladen wird. Bei der zweiten Szenengraphdatei handelt es sich um eine Kopie der ersten Szenengraphdatei mit den Objekt- und Ereignisparameterwerten, die vom Graphikmaster zuletzt übermittelt wurden. Daher sind die erste und zweite Szenengraphdatei in der Regel nicht identisch. Die Objekt- und Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei sind vielmehr gegenüber den Werten der ersten Datei einen Berechnungszyklus im Rückstand.

Die in der empfangenen Update-Nachricht enthaltenen Objekt- und Ereignisparameterwerte werden von der Graphikclienteinheit in der zweiten Szenengraphdatei abgespeichert, wobei die bisherigen Werte überschrieben werden, soweit aktualisierte Werte für sie in der Update-Nachricht enthalten sind. Die Graphikclients aktualisieren also ihre zweite Szenengraphdatei im jeweiligen zweiten Schreiblesespeicher mit jeder Update-Nachricht vom Graphikmaster. Der Graphikmaster ist mit der Berechnung stets einen Schritt voraus.

Anhand der zweiten Szenengraphdatei berechnet jeder Graphikclient Bilddaten eines Bildes und sendet eine zweite Nachricht, im folgenden auch "Berechnen--Fertig"-Nachricht genannt, an die Graphikmastereinheit über den ersten Nachrichtenkanal, die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert. Die erzeugten Bilddaten werden an einem Bilddatenausgang abgegeben.

Bei den von den Graphikclients erzeugten Bilddaten handelt es sich vorzugsweise um Rasterbilddaten. Mit Rasterbilddaten wird ein Bild in Form matrixförmig angeordneter Bildelemente definiert. Jedes Bildelement ist durch seine Matrixkoor-

dinaten identifizierbar. Diesen sind zusätzlich Farb- oder Helligkeitswerte in einem der gängigen Farbsysteme (z.B. RGB) zugeordnet.

Die berechneten Bilddaten können in anschließenden Remapping-Verfahren durch die Graphikclients modifiziert werden. Beispielsweise kann bei der Stereoprojektion ein Teilbild, etwa für das linke Auge, vom zugeordneten Graphikclient in zwei oder mehr Teilbildteile aufgeteilt werden, die auf eine entsprechende Anzahl zueinander angewinkelt stehenden Projektionsflächen wiedergegeben werden sollen. Hierzu wird für einen oder beide Teilbildteile eine Umrechnung der betroffenen Bilddaten in Abhängigkeit von der Anordnung des Projektors relativ zu den Projektionsflächen und vom Winkel zwischen den Projektionsflächen vorgenommen, derart, dass für einen Betrachter der projizierten Teilbildteile der Winkel zwischen den Projektionsflächen nicht erkennbar ist.

Der Eingang der "Berechnen-Fertig"-Nachricht von allen Graphikclients veranlasst den Graphikmaster, die Objekt- und Ereignisparameterwerte der Szenengraphdatei erneut zu aktualisieren und so einen neuen Bildberechnungszyklus zu starten.

Die Neuberechnung der Objekt- und Ereignisparameter der ersten Szenengraphdatei durch den Graphikmaster kann erfolgen, während die Graphikclients die Bilddatenberechnung anhand der zuletzt übermittelten Parameterwerte durchführen. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine etwa gleichmäßige Belastung der Graphikmastereinheit und der mit ihr verbundenen Graphikclienteinheiten gegeben. Die jeweiligen Rechenprozesse dauern daher etwa gleich lang, so dass insgesamt eine optimale Berechnungsgeschwindigkeit erzielt wird, die hohe Bilderneuerungsfrequenzen ermöglicht.

Doch kann aufgrund möglicherweise unterschiedlicher Bildinhalte der von den Graphikclients zu berechnenden Bilder nicht ausgeschlossen werden, dass unterschiedliche Berechnungsdauern bei Graphikmaster und Graphikclients, oder im Vergleich der Graphikclients auftreten. Wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass die Bilddatenberechnung und die Bilddatenausgabe durch die Graphikclienteinheiten aufgrund des Austausches der genannten Nachrichten immer gleichzeitig gestartet werden. Daher berechnen alle Graphikclients ihr Bild immer auf der Basis derselben Objekt- und Ereignisparameterwerte. Verzögert sich die Bildberechnung eines Graphikclients, wartet der Graphikmaster bis

zum Abschluss der verzögerten Bildberechnung, bevor alle Graphikclients gleichzeitig eine neue Update-Nachricht empfangen. Ein "Auseinanderlaufen" der Graphikclients ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht möglich. Dies ist wichtig bei jeder Ausgabe von veränderlichen Bildern in Form mehrerer Teilbilder durch mehrere Projektoren. Denn es ist sichergestellt, dass die ausgegebenen Teilbilder immer synchron berechnet und ausgegeben werden.

Es ist nicht erforderlich, dass die Graphikmastereinheit und die Graphikclienteinheit in einem Gerät integriert sind. Vielmehr entfaltet die Vorrichtung gerade ihre Vorteile, wenn Graphikmastereinheit und Graphikclienteinheiten voneinander getrennt sind, beispielsweise auf unterschiedlichen Computern implementiert sind.

In der Tat kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auf PCs mit ladenüblicher Hardwareausstattung implementiert werden, die über ein Standard-Ethernet-Netzwerk miteinander verbunden sind. Ein PC arbeitet als Graphikmaster, für jeden Graphikclient kann ein weiterer PC vorgesehen werden. Graphikmaster und Graphikclient können in Form von Softwaremodulen implementiert werden. Bei einer weiteren Ausführungsform ist ein integriertes Softwarepaket vorgesehen, das eine Auswahl zwischen der Master- oder der Client-Funktionalität ermöglicht.

Die Verwendung ladenüblicher PC-Hardware hat den Vorteil, dass einzelne Bestandteile wie Graphikkarte, Prozessor, etc. im Laufe der Zeit problemlos durch leistungsfähigere, preisgünstige und Modelle ersetzt werden können. Dadurch kann das System mit geringen Wartungskosten stets auf dem aktuell höchsten Leistungsstand gehalten werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich für aktive wie passive Stereoprojektionsmethoden. Die oben beschriebene Parameter und Bilddatenberechnung ist unabhängig von der Projektionsmethode. Ein erster Graphikclient berechnet ein erstes Teilbild, das das Gesichtsfeld des linken Auges wiedergibt, ein zweiter Client berechnet ein zweites Teilbild, das das Gesichtsfeld des rechten Auges wiedergibt. Sind mehrere Projektionsflächen vorgesehen, weist die Vorrichtung entsprechend für jede weitere Projektionsfläche zwei weitere Graphikclients auf, die die Teilbildberechnung für das linke bzw. rechte Auge durchführen. Die hierfür erforderlichen Parameterwerte der Kameraposition für das linke und für das rechte Auge werden von der Graphikclienteinheit anhand der von der Graphikmasterein-

heit übermittelten Objekt- und Ereignisparameterwerte mit Hilfe einfacher Algorithmen berechnet. Die Graphikmastereinheit kann grundsätzlich für jedes Teilbild eine Update-Nachricht senden, tut dies aber vorzugsweise nur alle zwei Teilbilder, nachdem für jedes Auge vom betreffenden Graphikclient ein Teilbild der aktuellen Szene berechnet und ausgegeben wurde. Bei der aktiven wie bei der passiven Stereo-Projektion können die Teilbilddaten von den verschiedenen Graphikclients gleichzeitig ausgegeben werden. Die bei der aktiven Stereo-Projektion erforderliche abwechselnde Projektion der Teilbilder für das linke und rechte Auge wird von nachgeschalteten Einheiten gesteuert. Hierauf wird weiter unten näher eingegangen.

Die erfindungsgemäße Anordnung kann für die aktive Stereoprojektion auf eine Projektionsfläche auch mit lediglich einem Graphikmaster und einem Graphikclient betrieben werden. Beide Einheiten können dann in einem Computer integriert, alternativ zur besseren Lastverteilung jedoch auch auf zwei Rechnern implementiert werden.

Der Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist nicht auf Stereo-Projektions-Anordnungen zur Wiedergabe räumlich wirkender Bilder beschränkt. Sie kann für jede Form der synchronen Projektion durch mehrere Projektoren eingesetzt werden. Beispielsweise können auch zweidimensionale bildliche Simulationen auf mehreren Projektionsflächen in einem Raum oder in unterschiedlichen Räumen synchron wiedergegeben werden. Graphikmaster und Graphikclients kommunizieren über ein Netzwerk.

Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Graphikmastereinheit zusätzlich ausgebildet zum Erzeugen einer dritten Nachricht und zum Senden der dritten Nachricht an jede Graphikclenteinheit nach dem Empfang der zweiten Nachricht von jeder Graphikclenteinheit her. Jede mit dem Graphikmaster verbundene Graphikclenteinheit ist zusätzlich ausgebildet zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang nach dem Empfang der dritten Nachricht. Bei dieser Ausführungsform warten die Graphikclients mit der Ausgabe der Bilddaten bis zum Eintreffen der dritten Nachricht, die daher auch als "Bild-Wechseln"-Nachricht bezeichnet wird. Diese Ausführungsform stellt mit der Übersendung der zusätzlichen dritten Nachricht die synchrone Bilddatenausgabe sicher.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist ein dritter Schreiblesespeicher vorgesehen, auf den die Graphikmastereinheit Schreib- und Lesezugriff hat. Bei dem dritten Schreiblesespeicher handelt es sich vorzugsweise um einen Massenspeicher in Form einer magnetischen Festplatte, der viele unterschiedliche Szenengraphdateien aufnehmen kann. Ist die Graphikmastereinheit auf einem herkömmlich ausgestatteten PC implementiert, können Bereiche von dessen Festplatte für die Aufnahme unterschiedlicher Szenengraphdateien genutzt werden. Der dritte Schreiblesespeicher ist mit dem zweiten Schreiblesespeicher verbunden, so dass ein aktuell darzustellender Szenengraph vor Beginn der ersten Parameterberechnung vom dritten in den zweiten Schreiblesespeicher geladen werden kann. Auch ein Abspeichern einer durch aktuelle Parameterwerte veränderten Fassung des auf dem dritten Schreiblesespeicher abgelegten Szenengraphs ist möglich. Schließlich kann die Szenengraphdatei auf dem dritten Schreiblesespeicher auch unabhängig von der aktuellen Bildberechnung von extern verändert werden.

Jeder im dritten Schreiblesespeicher enthaltenen Szenengraphdatei ist je eine Speicheradresse (URL) und/oder eine Szenengraphkennzahl zugeordnet ist. Die Szenengraphkennzahl dient in erster Linie zur Unterscheidung verschiedener Versionen einer Szenengraphdatei, wird also vorzugsweise nur in Fällen der URL hinzugefügt, in denen die URL allein nicht zur eindeutigen Identifizierung einer zu ladenden Szenengraphdatei genügt.

Bevorzugt sind die Graphikmastereinheit und die Graphikclienteinheit zur Echtzeit-Bildberechnung ausgebildet. Auf diese Weise wird bei der Darstellung räumlich wirkender Bilder eine Benutzerinteraktion über ein mit dem Graphikmaster verbundenes Eingabegerät ohne spürbare Verzögerung in eine Veränderung der dargestellten Szene umgesetzt. Tatsächlich ist eine Verzögerung von einem "Frame", entsprechend einem Bildberechnungszyklus gegeben, da der Graphikmaster den Graphikclients stets einen Zyklus voraus ist. Hierbei handelt es sich jedoch um eine Verzögerungszeitspanne im Bereich von maximal 20 ms bei einer Bildwiederholrate von 50Hz, die durch Einstellung einer höheren Bildwiederholrate weiter verkürzt werden kann. Sie ist für einen Betrachter der Szene nicht wahrnehmbar.

Graphikclienteinheit und Graphikmastereinheit weisen vorzugsweise die Funktionsmerkmale eines Browsers für das Dateiformat VRML, Inventor, Performer und/oder X3D auf. Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung bauen Graphikmasterein-

heit und Graphikclienteinheit jeweils auf einem Open-Source VRML-Browser (Blaxxun 2.0) auf.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung weist einen zweiten Nachrichtenkanal auf. Hierbei kann es sich wie beim ersten Nachrichtenkanal um einen logischen Nachrichtenkanal handeln, der physikalisch beispielsweise durch einer übliche Ethernet- Netzwerkverbindung realisiert sein kann.

Über den zweiten Nachrichtenkanal kommunizieren eine Synchronisationsmaster-einheit, die mit der Graphikmastereinheit verbunden ist, und Synchronisations-clienteinheiten, wobei jede Graphikclienteinheit mit einer Synchronisationsclient-einheit verbunden ist.

Die Synchronisationsmastereinheit ist zum Erzeugen einer vierten Nachricht ausgebildet, in der die Speicheradresse einer Szenengraphdatei und/oder die Szenenkennzahl der Szenengraphdatei enthalten ist sowie zum Senden der vierten Nachricht über den zweiten Nachrichtenkanal. Dies erfolgt beispielsweise zu Beginn der Bilddatenberechnung.

Die Synchronisationsclienteinheiten sind ausgebildet zum Empfang der vierten Nachricht und zum anschließenden Veranlassen des Ladens der in der vierten Nachricht definierten Szenengraphdatei in den zweiten Schreiblesespeicher sowie zum Erzeugen und Senden einer fünften Nachricht, die den Abschluss des Ladens der Szenengraphdatei signalisiert, an die Synchronisationsmastereinheit.

Durch die Übermittlung der vierten und fünften Nachricht über den zweiten Nachrichtenkanal werden Graphikmaster und Graphikclient von Kommunikationsprozessen entlastet, die nicht unmittelbar mit der Bildberechnung zu tun haben. Derartige Aufgaben übernehmen die Synchronisationsmaster- und -clienteinheit.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Synchronisationsmastereinheit bzw. die Synchronisationsclienteinheit zusätzlich ausgebildet zum Erzeugen einer ersten Testnachricht bzw. einer zweiten Testnachricht. Synchronisationsmaster und -client sind bei dieser Ausführungsform weiterhin ausgebildet zum Erzeugen einer ersten Testantwortnachricht nach Empfang der zweiten Testnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal bzw. zum Erzeugen einer zwei-

ten Testantwortnachricht nach Empfang der ersten Testnachricht und zum Senden der jeweiligen Test- und Testantwortnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal.

Der zweite Nachrichtenkanal (vgl. auch Bezugszeichen 80 in Figur 5) dient zum Aufbau und Aufrechterhalten der Kommunikation zwischen Synchronisations- und Graphikmastereinheit auf der einen und Synchronisations- und Graphikclient auf der anderen Seite, sowie zum Übermitteln von anwendungsspezifischen Kommandos des Graphikmasters, beispielsweise Browerkommandos. Mit der Testnachricht und der Testantwortnachricht wird geprüft, ob eine Kommunikationsverbindung zwischen Master und Clients besteht.

Da der erste und der zweite Nachrichtenkanal zwar logisch unterschiedlich sind, aber über grundsätzlich durch ein und dieselbe physikalische Verbindung (Netzwerkkarten, Netzwerkkabel) realisiert werden können, kann mit dieser Testnachricht das Bestehen einer Kommunikation sowohl auf dem ersten als auch auf dem zweiten Nachrichtenkanal geprüft werden.

Zur Umsetzung der von den Graphikclients berechneten Bilddaten in Steuersignale für ein Bildwiedergabegerät ist bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, das insbesondere für den Einsatz bei der passiven Stereoprojektion geeignet ist, jeder Graphikclienteinheit je eine Graphikrecheneinheit zugeordnet, die einen Dateneingang für Bilddaten aufweist, über den sie mit der zugeordneten Graphikclienteinheit verbunden ist. Jede Graphikrecheneinheit ist ausgebildet zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über einen Signalausgang. An den Signalausgang kann ein Lichtbildprojektor angeschlossen werden. Als Graphikrecheneinheit können beispielsweise handelsübliche PC-Graphikkarten verwendet werden.

Eine weitere Ausführungsform, die für eine Bilddatenberechnung und -ausgabe bei der aktiven Stereoprojektion ausgebildet ist, weist demgegenüber nur geringe Unterschiede auf. Die Graphikclients sind für die aktive Stereo-Projektion zum abwechselnden Berechnen und Ausgeben zunächst eines (Teil-)Bildes für das linke Auge und anschließend eines (Teil-)Bildes für das rechte Auge ausgebildet, die an eine Graphikrecheneinheit ausgegeben werden. Diese steuert den Projektor dem Fluss der eingehenden Bilddaten entsprechend bei der abwechselnden Projektion

eines jeweiligen Teilbildes für das linke und für das rechte Auge. Die Graphikmasterseinheit kann grundsätzlich für jedes Teilbild eine neue Update-Nachricht senden, tut dies aber vorzugsweise nur alle zwei Teilbilder, nachdem für jedes Auge vom betreffenden Graphikclient ein Teilbild der aktuellen Szene berechnet und ausgegeben wurde.

Die erforderlichen Parameterwerte einer "Kameraposition" für das linke und für das rechte Auge werden von der Graphikclienteinheit bei der aktiven wie bei der passiven Stereoprojektion anhand der von der Graphikmasterseinheit übermittelten Objekt- und Ereignisparameterwerte mit Hilfe einfacher Algorithmen berechnet.

Ein hierzu alternatives Ausführungsbeispiel der Erfindung für die aktive Stereoprojektion verteilt auch bei der aktiven Stereoprojektion die Last der Bilddatenberechnung der Teilbilder für das linke und rechte Auge auf zwei Graphikclienteinheiten pro Projektionsfläche. Dieses Ausführungsbeispiel gleicht in der Struktur von Graphikmaster und -clients dem Ausführungsbeispiel für die passive Stereoprojektion. Jedoch teilen sich zwei Graphikclients eine Graphikrecheneinheit und einen Lichtbildprojektor. Dafür weist diese Ausführungsform zusätzlich eine Teilbildumschalteinheit für je zwei Graphikclienteinheiten auf. Die Teilbildumschalteinheit hat einen Signaleingang, über den sie mit einer Schaltsteuereinheit verbindbar ist, mindestens einen ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, der je einer Graphikclienteinheit zugeordnet ist, einen ersten und einen zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist, und einen Bilddatenausgang für jedes Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang. Die Teilbildumschalteinheit ist ausgebildet zum Verbinden entweder des ersten oder des zweiten Bilddatenzwischenspeichers mit dem Bilddatenausgang in Abhängigkeit vom Zustand des Signaleingangs.

Eine Schaltsteuereinheit, die ausgangsseitig mit dem Signaleingang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist, ist ausgebildet zum Erzeugen und Abgeben mindestens eines Steuersignals mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

Die Teilbildumschalteinheit kann je nach Anzahl der zu beleuchtenden Projektionsflächen ausgebildet sein für eine Verbindung mit zwei Graphikclients (eine Projektionsfläche), vier Graphikclients (zwei Projektionsflächen), sechs Graphikclients (drei Projektionsflächen), und so fort. Für jedes Paar Graphikclients ist je ein Paar

von Bilddatenzwischenspeichern vorgesehen. Hierbei kann es sich auch um zwei, vier, sechs, ... Speicherbereiche ein und desselben Speichers handeln. Jedem Paar Bilddatenzwischenspeicher ist je ein Bilddatenausgang zugeordnet.

Die Teilbildumschalteinheit nimmt die von den Graphikclients gleichzeitig ausgegebenen Bilddaten in den jeweiligen Bilddatenzwischenspeicher auf. Ein Zwischenspeicher eines Speicherpaars enthält also ein Teilbild für das linke Auge, der andere ein Teilbild für das rechte Auge. Diese Teilbilder werden von der Teilbildumschalteinheit nacheinander ausgegeben.

Hierzu empfängt die Teilbildumschalteinheit über ihren Signaleingang Steuersignale von der Schaltsteuereinheit. Ein erstes Steuersignal veranlasst die Teilbildumschalteinheit zur Ausgabe aller Teilbilder für das linke Auge über die zugeordneten Bilddatenausgänge. Ein zweites Steuersignal veranlasst die Teilbildumschalteinheit zur Ausgabe aller Teilbilder für das rechte Auge über dieselben Bilddatenausgänge.

Die Schaltsteuereinheit sendet ihre Steuersignale mit einer vorbestimmbaren Frequenz, die der Bilderneuerungsrate des Projektors entspricht. Wenn beispielsweise die Teilbilder für das linke und das rechte Auge mit einer Frequenz von 50 Hz erneuert werden sollen, werden das erste und das zweite Steuersignal abwechselnd mit einer Frequenz von jeweils 50 Hz erzeugt. Die Signalabgabefrequenz am Signalausgang der Schaltsteuereinheit ist dann 100 Hz.

Eine Weiterbildung dieses für die Verwendung in einer aktiven Stereoprojektionsanordnung geeigneten Ausführungsbeispiels der Erfindung weist eine Graphikrecheneinheit auf, die mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist. Sind mehrere Bilddatenausgänge an der Teilbildumschalteinheit vorgesehen, ist jedem Bilddatenausgang je eine Graphikrecheneinheit zugeordnet. Die Graphikrecheneinheit gleicht ansonsten der in der Vorrichtung für eine passive Stereo-Projektion vorgesehenen, weist also einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes auf, und ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang ausgebildet.

In einer Weiterführung des Erfindungsgedankens werden die Funktionsmerkmale des Graphikmasters in einem Graphikmastermodul und die Funktionsmerkmale des Graphikclients in einem Graphikclientmodul realisiert, die beispielsweise jeweils als PC-Steckkarte ausgebildet sein können. Die Struktur- und Funktionsmerkmale des Graphikmastermoduls und des Graphikclientmoduls ergeben sich weitgehend aus den oben beschriebenen Merkmalen der Graphikmastereinheit.

Das Graphikmastermodul weist mindestens einen Signaleingang auf, der ausgebildet ist zum Empfang von Signalen eines externen Eingabegeräts. Weiterhin ist eine erste Nachrichtenschnittstelle vorgesehen, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Nachrichten, und ein erster Schreiblesespeicher zur Aufnahme mindestens einer ersten Szenengraphdatei. Das Graphikmastermodul weist weiterhin Bildparameterberechnungsmittel auf, die mit dem ersten Schreiblesespeicher und dem Signaleingang sowie mit der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind und die ausgebildet sind zum Berechnen von Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs. Weiterhin sind Mastersteuermittel vorgesehen, die mit den Bildparameterberechnungsmitteln und der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind, und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle, wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält.

Bei dem erfindungsgemäßen Graphikmastermodul sind die Funktionsmerkmale der oben beschriebenen Graphikmastereinheit auf zwei Einheiten aufgeteilt. Die Bildparameterberechnungsmittel übernehmen die Aufgaben der Graphikberechnung, die Mastersteuermittel erledigen die Kommunikation mit den Graphikclientmodulen. Hierbei kann es sich um eine rein logische oder um eine auch hardwaremäßige Differenzierung handeln. Die Funktionsmerkmale können wie bei der Graphikmastereinheit in Form implementierter Software oder in Form speziell ausgebildeter ASICs realisiert werden.

Verschiedene Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Graphikmastermodul weisen die zusätzlichen Merkmale der oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe auf. In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Synchronisa-

tionsmastereinheit mit den oben beschriebenen Struktur- und Funktionsmerkmalen vorgesehen.

Das erfindungsgemäße Graphikclientmodul weist eine zweite Nachrichtenschnittstelle auf, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Daten; einen zweiten Schreiblesespeicher zur Aufnahme mindestens einer zweiten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, und einen Bilddatenausgang. Weiterhin sind Bilddatenberechnungsmittel vorgesehen, die mit der zweiten Nachrichtenschnittstelle und dem zweiten Datenspeicher verbunden sind und die ausgebildet sind zum Abspeichern der an der zweiten Nachrichtenschnittstelle empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei sowie zum Erzeugen von Bilddaten eines Bildes in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, sowie zum Ausgeben der erzeugten Bilddaten am Bilddatenausgang. Die Kommunikation mit einem Graphikmastermodul übernehmen Clientsteuermittel, die mit der Nachrichtenschnittstelle und mit den Bilddatenberechnungsmitteln verbunden sind und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit über die zweite Nachrichtenschnittstelle, die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert.

Auch das Graphikclientmodul kann die zusätzlichen Merkmale der Graphikclienteinheit in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe aufweisen. Insbesondere kann sie eine Synchronisationsclienteinheit mit den oben beschriebenen Merkmalen aufweisen.

Ein selbstständig schutzwürdiger Erfindungsgedanke betrifft ein Bildumschaltmodul, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, jedem Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang zugeordnet einem Bilddatenausgang, einem ersten und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der dem ersten bzw. dem zweiten Bilddateneingang zugeordnet ist der eingangsseitig mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist und ausgebildet ist zum Speichern von Bilddaten und zum Ausgeben gespeicherter Bilddaten über den zugeordneten Bilddatenausgang auf ein erstes bzw. zweites Steuersignal

hin. Weiterhin weist das Bildumschaltmodul eine Schaltsteuereinheit auf, die einen Signalausgang hat, über den sie mit dem ersten und dem zweiten Bilddatenzwischenspeicher verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben des ersten und des zweiten Steuersignals in abwechselnder Folge mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

Das Bildumschaltmodul integriert die oben beschriebene Teilbildumschalteinheit und Schaltsteuereinheit, die in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung Verwendung findet, die bei der aktiven Stereoprojektion eingesetzt wird. Das Bildumschaltmodul kann ebenso wie Graphikmaster- und -clientmodul als Steckkarte realisiert werden. Auch eine Bauform als separates Gerät mit eigener Energieversorgung ist denkbar. Die Signalabgabefrequenz kann von extern eingestellt werden und ist entspricht vorzugsweise der von Graphikmaster und Graphikclient vorgegebenen Bilderneuerungsrate.

Für den Anschluss einer Shutterbrille für einen Betrachter ist die Schaltsteuereinheit in einer bevorzugten Ausführungsform zur zusätzlichen Abgabe des ersten und des zweiten Steuersignals in Form elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, ausgebildet. Auch eine Abgabe von Strahlung geringerer Frequenz für die Funkübertragung ist selbstverständlich möglich und hätte den Vorteil, dass kein Sichtkontakt zwischen dem Betrachter und der Schaltsteuereinheit bestehen muss.

Als weitere, unabhängige Aspekte des Erfindungsgedankens sind Anordnungen zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, für aktive wie für passive Stereo-Projektion anzusehen.

Eine passive Stereo-Projektion ist realisiert bei einer Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Diese Vorrichtung weist mindestens eine Streufläche auf, die ausgebildet ist zur polarisationserhaltenden Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt.

Die Streufläche für eine Rückstreuuanordnung ist bevorzugt metallisch. Sie kann auf eine Trägerfläche aufgedampft oder als selbsttragende Schicht in Form einer Platte ausgebildet sein. Die Vorwärtsstreuung ist im Gegensatz zur Rückwärtsstreuung nicht notwendigerweise auf eine Fläche, also einen Bereich geringer Erstreckung in Lichteinfallsrichtung begrenzt.

Die Anordnung weist zwei einer jeweiligen Streufläche zugeordnete Lichtbildprojektoren als Bildwiedergabegeräte auf, die jeweils einen Steuereingang aufweisen und die ausgebildet sind zum Umsetzen jeweils einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in jeweils ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes unter Verwendung polarisierten Lichts, wobei die Polarisation des von den zwei Projektoren jeweils verwendeten Lichts unterschiedlich orientiert ist, und die angeordnet sind zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die zugeordnete Streufläche.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Anordnung eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe in einer Ausführungsform auf, die für die passive Stereoprojektion ausgebildet ist. Hierbei ist jedem Lichtbildprojektor zugeordnet je eine Graphikrecheneinheit vorgesehen, wobei der Signalausgang der jeweiligen Graphikrecheneinheit mit dem Steuereingang des jeweiligen Lichtbildprojektors verbunden ist. Weiterhin ist jede Graphikclienteinheit ausgebildet zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken oder rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

Die erfindungsgemäße Anordnung hat gegenüber bekannten Anordnungen den Vorteil, dass sie mit wesentlich einfacheren und kostengünstigeren Bauteilen realisierbar ist. Dies geht zum einen aus der vorstehenden Beschreibung des erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe hervor. Zum anderen können für die erfindungsgemäße Anordnung vergleichsweise günstige Lichtbildprojektoren, also beispielsweise LCD (Liquid Crystal Display) oder DLP (Digital Light Projection)-Projektoren verwendet werden. Als Lichtbild wird in diesem Zusammenhang ein projiziertes Bild verstanden. Die Verwendung von CRT-Projektoren ist auch möglich, hat aber den Nachteil, das

dieser Projektortyp wesentlich teurer und allein für eine aktive Stereoprojektion geeignet ist.

Die Lichtbildprojektoren können in zweit alternativen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung so angeordnet sein, dass sie die Teilbilder aus Sicht des Betrachters entweder von vorn oder von hinten auf die Streufläche abbilden. Für die Beleuchtung von hinten, das heißt bei Vorwärtsstreuung durch die Streufläche, sind speziell ausgebildete Streuwände erhältlich. Die aus Sicht eines Betrachters erfolgende Anordnung der Lichtbildprojektoren hinter der Streufläche bei dieser Ausführungsform hat zwar den Nachteil, dass insgesamt mehr Raum für die Anordnung benötigt wird. Auch sind Streuwände für die Vorwärtsstreuung aufwändiger in der Herstellung Dafür können jedoch auch Boden und Decke ebenfalls als Streufläche ausgebildet werden. Dies ist bei einer Anordnung der Projektoren auf der Seite des Betrachters nicht möglich, da es sich nicht vermeiden lässt, dass der Betrachter einen Schatten auf Boden oder Decke wirft und damit die Bildprojektion stört.

Die Projektoren weisen der Einfachheit halber in einer Ausführungsform der Erfindung je einen Polarisator auf. Die Polarisatoren der Projektoren für das linke und rechte Auge des Betrachters sind für linear polarisiertes Licht mit vorzugsweise senkrecht zu einander stehenden Schwingungsrichtungen durchlässig. Auf diese Weise ist ein optimaler Kontrast zwischen den Teilbildern für das linke und das rechte Auge erzielbar. Alternativ können auch Filteranordnungen zur Projektion rechts- bzw. linkselliptischen oder rechts bzw. linkszirkular polarisierten Lichts verwendet werden.

Für den Betrachter ist eine ausgebildete Analysatorbrille vorgesehen, deren Gläser für Licht mit jeweils einer der von den Lichtbildprojektoren vorgegebenen Polarisation durchlässig sind. Dabei ist die Zuordnung von projiziertem Teilbild zum Auge bei der Anordnung der Filter in der Brille berücksichtigt.

Ein weiterer Aspekt des Erfindungsgedankens mit selbständiger Schutzwürdigkeit betrifft eine Anordnung für eine aktive Stereoprojektion, die zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder ausgebildet ist, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Diese erfindungsgemäße Anordnung weist mindestens eine Streufläche auf, die

ausgebildet ist zur Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt.

Die Anforderungen an die Streufläche sind bei der aktiven Stereoprojektion geringer, da die Polarisation des gestreuten Lichts nicht erhalten sein muss. So können herkömmliche Leinwände oder auf Glas oder Kunststoff basierende Streuwände verwendet werden.

Im Gegensatz zur Anordnung für die passive Stereoprojektion genügt bei der vorliegenden Anordnung ein einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektor als Bildwiedergabegerät, der ansonsten genauso ausgebildet sein kann wie oben beschrieben. Es können jedoch auch mehrere Projektoren verwendet werden, beispielsweise wenn Bilder für unterschiedliche Betrachterpositionen projiziert werden sollen.

Als weiterer Unterschied zur Anordnung für die passive Stereoprojektion ist hier eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe vorgesehen, die wie oben beschrieben den Erfordernissen der aktiven Stereoprojektion entsprechend ausgebildet ist. Hierbei weist sie jedem Lichtbildprojektor zugeteilt eine erste und eine zweite Graphikclienteinheit (98) auf, wobei der Bilddatenausgang der jeweiligen Graphikclienteinheit mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist. Weiterhin ist die erste bzw. zweite Graphikclienteinheit ausgebildet zum Berechnen von Rasterbilddaten eines des Blickfeld des linken bzw. rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

Gemäß einem weiteren Erfindungsgedanken mit selbständiger Schutzwürdigkeit wird für die Bildwiedergabe eine Vorrichtung zur Bildwiedergabe durch Rückstreuung von Licht verwendet, mit einer ersten und einer zweiten ebenen Streufläche, wobei die von den Streuflächen aufgespannten Ebenen einen Winkel einschließen, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Streufläche mit einander zugewandten Rändern an eine dritte ebene Streufläche angrenzen derart, dass die dritte Streufläche an die erste und zweite Streufläche jeweils unter stumpfen Winkeln

kel anschließt und dass die Schnittgeraden der von den drei Streuflächen aufgespannten Ebenen parallel zueinander verlaufen.

Das Einfügen einer dritten Streufläche, die an beiden Enden ihrer Breitenerstreckung unter stumpfem Winkel an die jeweils benachbarte Streuflächen anschließt, hat den Vorteil, dass unerwünschte, für den Betrachter sichtbare Lichtstreuung von der ersten auf die zweite Streufläche im Eckbereich vermieden wird. Dieser Effekt tritt besonders bei Anordnungen in Escheinung, bei denen die erste und zweite Ebene einen stumpfen oder rechten Winkel einschließen.

Vorzugsweise weist die dritte Streufläche eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweist. Bei geringerer Breitenerstreckung reicht der Abstand zwischen der ersten und zweiten Streufläche im Eckbereich nicht aus, um die störende Streuung völlig unsichtbar zu machen. Bei einer derzeit realisierten Ausführungsform weist die Streufläche eine Breitenerstreckung von 80cm auf und schließt jeweils unter 130 Grad an die erste und zweite Streufläche an.

Bei dieser Anordnung ist dass Graphikclienteinheit ausgebildet ist zur Berechnung und Ausgabe jeweils zweier Teilbildteile derart, dass ein erster Teilbildteil auf der ersten oder zweiten Projektionsfläche verzerrungsfrei erscheint und dass ein zweiter Teilbildteil auf der dritten Projektionsfläche verzerrungsfrei erscheint ("Remapping"). Zur Kompensation der Bildprojektion unter schrägem Lichteinfall auf die dritte Streufläche werden bei dieser Ausführungsform die im zweiten Teilbildteil dargestellten Strukturen unter Berücksichtigung des Winkels der Streuflächen rechnerisch gedreht. Weiterhin fließt die Position des Projektors relativ zur dritten Streuwand in das Remapping ein. Werden die Teilbildteile auf die jeweilige Streufläche projiziert, ist der Winkel zwischen den Streuwänden nicht wahrnehmbar.

Bei einer anderen Ausführungsform ist eine Erweiterung der zuletzt beschriebenen Graphikclientfunktionalität auf die Berechnung von mehr als zwei Teilbildteilen implementiert. Damit können beispielsweise in beengten Raumverhältnissen mehrere unter stumpfem Winkel zueinander stehende Streuwände mit geringer Breitenerstreckung von einem Projektorpaar beleuchtet werden.

Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Darin zeigen:

- Figur 1 eine vereinfachte Skizze eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind,
- Figur 2 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung der Lichtstreuung zwischen rechtwinklig aneinander grenzenden Bildschirmen
- Figur 3 eine vereinfachte Skizze eines zweiten Ausführungsbeispiels Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind,
- Figur 4 ein Beispiel für eine Bilddarstellung mit Hilfe des zweiten Ausführungsbeispiels,
- Figur 5 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, wie sie bei der Anordnung der Figur 1 verwendet werden kann,
- Figur 6 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, das insbesondere für den Einsatz bei der aktiven Stereo-Projektion vorgesehen ist,
- Figur 7 ein Flussdiagramm, dass die Verfahrensschritte beim Laden einer Szenengraphdatei darstellt und
- Figur 8 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Synchronisierung der Bilddarstellung und Figur 9 ein Flussdiagramm eines alternativen Verfahrens zur Synchronisierung der Bilddarstellung.

Figur 1 zeigt eine vereinfachte Draufsicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur räumlichen Visualisierung. Die Anordnung ist für die Stereo-Projektion aus Richtung des Betrachters (Front-Projektion) ausgelegt. Der Stereo-Effekt

wird passiv erzeugt und kann mit einer Polarisationsfilter-Brille wahrgenommen werden.

Diese Anordnung weist zwei rechtwinklig aufgestellte Leinwände 10 und 12, vier Projektoren 14 bis 20 und ein Graphikrechnersystem von 5 miteinander vernetzten Rechnern 22 bis 30 auf. Die Netzwerkverbindung zwischen den Rechnern 22 bis 30 ist durch Doppelpfeile 32 angedeutet.

Die Leinwände 10 und 12 (im folgenden auch Streuwände genannt) sind im rechten Winkel  $\beta$  zueinander aufgestellt und grenzen ohne Spalt unmittelbar aneinander an. Sie können im Bereich des Winkels  $\beta$  fest oder lösbar miteinander verbunden sein. Die lose Aufstellung hat den Vorteil, dass die Wände zu Experimentierzwecken beliebig neu zueinander positioniert werden können. So kann beispielsweise der Winkel  $\beta$  zwischen den Leinwänden verändert werden. Aber auch durch Verwendung geeigneter Verbindungselemente wie Scharniere kann erreicht werden, dass die Leinwände gegeneinander verschwenkbar sind, um einen beliebigen Winkel  $\beta$  zwischen ihnen einzustellen. Bei Installationen, die großem Publikumsverkehr ausgesetzt sind, ist jedoch eine feste Verbindung der Leinwände ohne Verschwenkmöglichkeit vorteilhaft, um bei Berührung ein Verrücken der Leinwände relativ zueinander zu vermeiden.

Die Streuwände werden bevorzugt in einem Winkel  $\beta$  zwischen 90 und 180 Grad aufgestellt, weil auf diese Weise der Betrachter außerhalb der von den Projektoren 14 bis 20 erzeugten Lichtkegel 34 und 36 steht und keinen Schatten wirft. Grundsätzlich ist jedoch auch eine Anordnung mit einem spitzen Winkel möglich.

Im vorliegenden Beispiel weisen die Leinwände 10 und 12 auf ihren den Projektoren 14 bis 20 zugewandten Seiten polarisationserhaltende Streuflächen 38 und 40 auf, wie sie für die 3D-Darstellung üblich sind. Die Streuflächen 38 und 40 sind hierfür aus Metall gefertigt. Das auf die Streuflächen projizierte Licht von diesen in den gesamten ihnen zugewandten Halbraum zurückgeworfen, ohne die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes zu ändern. Auf diese Weise erreicht einen Betrachter an verschiedenen Positionen vor den Streuwänden polarisationserhaltend gestreutes Licht von allen Abschnitten der Streuflächen 38 und 40, die von den Projektoren 14 bis 20 beleuchtet werden.

Die Streuflächen 38 und 40 können als ein- oder mehrteilige Metallschicht ausgebildet sein, die auf einen Träger aufgebracht ist. Der Träger kann beispielsweise aus Kunststoff gefertigt sein. Alternativ kann die gesamte Streuwand 10 oder 12 aus Metall gefertigt sein.

Die Streuflächen 38 und 40 sind eben. Werden durchgängig oder abschnittsweise gekrümmte Streuflächen verwendet, kann der dadurch verursachte Eindruck einer Bildverzerrung durch eine rechnerische Anpassung der projizierten Szene korrigiert werden.

Die Ausmaße der Streuwände 10 und 12 sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel (Breite x Höhe) 3,30m x 2,50m. Es werden Streuwände des Modells "Miracle 3D silverscreen" verwendet. Bei der vorliegenden Anordnung ist der Raumbedarf auf (Breite x Tiefe x Höhe) 5 x 5 x 2,5 m<sup>3</sup> begrenzt.

Jeder Leinwand 10 und 12 sind zwei Projektoren 14 und 16 bzw. 18 und 20 zugeordnet. Die folgende Beschreibung beschränkt sich auf die Anordnung der Projektoren 14 und 16 relativ zur Leinwand 10. Die Anordnung der Projektoren 18 und 20 relativ zur Leinwand 12 ist analog. Die Projektoren 14 und 16 sind so angeordnet und eingerichtet, dass sie Lichtbilder mit auf der Streufläche 38 identischen Ausmaßen projizieren. Die Lichtbilder decken die Streufläche 38 bis exakt zu ihrem rechten Rand ab, wo die Streufläche 38 an die Streufläche 40 der Leinwand 12 grenzt. Beide Projektoren sind in gleichem Abstand zur Streufläche und etwa mittig bezüglich ihrer Breitenerstreckung angeordnet.

Die Darstellung der Projektoren in Figur 1 mit unterschiedlichen Konturen entspricht nicht ihren jeweiligen tatsächlichen Ausmaßen, sondern dient allein der Sichtbarmachung beider Projektoren in der gewählten Draufsichtdarstellung.

Die Projektoren können auf einem Stativ oder an einem an der Raumdecke befestigten Träger unter der Decke hängend angeordnet werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind beide Projektoren 14 und 16 unter der Decke hängend angeordnet.

Zur präzisen Ausrichtung der Projektoren sind sie unabhängig von einander parallel zur Breitenerstreckung der Leinwand 10 und in Abstandsrichtung relativ zur

Leinwand verschiebbar befestigt. Zusätzlich sind die Projektoren jeweils um eine vertikale Achse und um eine senkrecht zur Flächennormalen der Streuflächen stehende horizontale Achse schwenkbar.

Beide Projektoren sind handelsübliche LCD-, DMD- oder DLP- Projektoren. Beispielsweise kann das Modell MP8750 von ... verwendet werden. Die Lichtleistung beträgt 1300 ANSI lumen, die Auflösung 1024 x 768 Pixel. Die verwendeten Projektoren weisen eine Bildkorrektur einheit auf, die trapezförmige Bildverzerrungen auf der Streufläche aufgrund schrägen Lichteinfalls ausgleicht.

Den Projektionslinsen der Projektoren 14 und 16 (ebenso wie 18 und 20) vor- oder nachgeschaltet sind hier nicht dargestellte Polarisationsfilter. Die Polarisationsfilter der Projektoren 14 und 16 lassen Licht in unterschiedlichen Polarisationsrichtungen durchtreten. Beispielsweise lässt der Polarisationsfilter des Projektors 14 linear polarisiertes Licht durchtreten, dessen elektrischer Feldvektor auf der Streufläche in horizontaler Richtung, also parallel zur Zeichenebene der Figur 1 schwingt. Der Polarisationsfilter des Projektors 16 lässt in diesem Fall linear polarisiertes Licht durch, dessen elektrischer Feldvektor auf der Streufläche in vertikaler Richtung, also senkrecht zur Zeichenebene schwingt.

Das Licht der Projektoren, die jeweils das Bild für das linke Auge auf die Leinwände 10 und 12 werfen, vorliegend beispielsweise das Licht der Projektoren 14 und 18, weist dieselbe Polarisationsrichtung (horizontal) auf. Dasselbe gilt für das Licht der Projektoren 16 und 20, das vertikal polarisiert ist. Der Betrachter trägt dementsprechend eine Brille, die links nur horizontal und rechts nur vertikal polarisiertes Licht durchtreten lässt.

Alternativ können die Polarisationsfilter der Projektoren 14 und 16 auch links- bzw. rechtszirkular polarisiertes Licht durchlassen. In diesem Fall müsste die Brille des Betrachters ebenfalls mit entsprechenden Polarisationsfiltern für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht für das linke bzw. rechte Auge ausgestattet sein.

Jedem Projektor ist einer der Graphikrechner (Client) 22 bis 28 zugeordnet. Die Graphikrechner sind herkömmlich ausgestattete Personal Computer (PC). Eine typische Ausstattung weist unter anderem beispielsweise folgende Bauteile auf:

1 Prozessor vom Typ AMD Athlon, getaktet mit 900 MHz,

512 MByte Arbeitsspeicher (RAM),  
1 Graphikkarte GeForce2 GTS mit 64 MByte DDR RAM  
100Mbit/s Ethernet-Netzwerkkarte

Eine Festplatte kann zum lokalen Booten der Clients 22 bis 28 vorgesehen sein, ist aber grundsätzlich nicht erforderlich, da die Clients mit Hilfe eines nachfolgend beschriebenen Masterrechners 30 auch über das Netzwerk gebootet werden können.

Jeder Projektor 14 bis 20 ist an den Ausgang der Graphikkarte des zugeordneten Graphikrechners 22 bis 28 angeschlossen.

Zusätzlich zu den Graphikrechnern 22 bis 28 ist ein Masterrechner (Master) 30 vorgesehen. Der Masterrechner ist ebenfalls ein PC, dessen Hardware-Ausstattung mit der der Graphikrechner 22 bis 28 übereinstimmt, was die oben genannten Bauteile betrifft. Zusätzlich weist der Masterrechner 30 eine Festplatte auf. Weiterhin ist er ausgerüstet für den Anschluss und den Betrieb eines Monitors 42, einer Maus 44 und einer Tastatur 46. Weitere Eingabegeräte sind an den Master 30 - auch schnurlos, beispielsweise über eine Infrarot- oder Funk-schnittstelle - anschließbar und in Figur 1 durch einen Block 48 symbolisiert. Hierbei handelt es sich beispielsweise um eine schnurlose Gyroskop-Maus. Ein alternatives Eingabegerät 48 ist ein Datenhandschuh, dessen Ausgangssignale dem Master 30 Informationen über Bewegungen und Stellung der Finger einer Hand liefern. Als Eingabegerät 48 kann auch ein Tracking-Device vorgesehen sein, das mit Hilfe elektrooptischer Sensoren Signale erzeugt, die von der Position und Blickrichtung der Augen eines Betrachters abhängen, und diese Signale an den Master 30 ausgibt. Auch ein Walking-Device kann verwendet werden. Schließlich ist auch ein Mikrofon als Eingabegerät vorgesehen. Mit Hilfe eines in den Master integrierten Spracherkennungssystems können Befehle des Betrachters interpretiert und der Neuberechnung der Felder der aktuell geladenen Szenengraphdatei zugrunde gelegt werden. Die genannten Eingabegeräte können je nach Anwendung alternativ oder in Kombination vorgesehen sein.

Die Graphikrechner 22 bis 28 und der Master 30 sind untereinander über Standard 100Mbit/s Ethernet-Netzwerkkarten und Netzwerkkabel verbunden. Sie arbeiten mit einem Windows 95/98/NT oder Windows 2000-Betriebssystem (Networking,

Threads), einem OpenGL client (GLUT windows handling, Portable C++) und einer UDP-Netzwerkschicht, die eine geringe Latenzzeit von weniger als 1 ms erlaubt.

In Figur 1 nicht dargestellt ist das verwendete Surround-Sound-System, das einen Verstärker (Yamaha DSP-A595 mit vier Kanälen), 4 Lautsprecher und 2 Subwoofer in üblicher Anordnung aufweist.

Bei der in Figur 1 dargestellten Anordnung werfen die Projektoren 14 und 18 horizontal polarisierte Lichtbilder einer Szene auf die Streuflächen 38 und 40, wie sie das linke Auge eines Betrachters an einer definierten Position relativ zur Szene wahrnehmen würde. Diese Position entspricht in der Anordnung der Figur 1 der mit "P" gekennzeichneten Position. Die zwei Bilder der Projektoren 14 und 18 für das linke Auge sind unterschiedlich. Sie stellen die linke und rechte Hälfte des Gesichtsfeldes des linken Auges dar und ergänzen sich daher zum gesamten Gesichtsfeld des linken Auges an der definierten Betrachterposition. Analoges gilt für die Projektoren 16 und 20. Die Projektoren 16 und 20 werfen vertikal polarisierte Lichtbilder derselben Szene auf die Streuflächen 38 und 40, wie sie das rechte Auge eines Betrachters an der definierten Position wahrnehmen würde. Der Projektor 16 wirft die linke Hälfte des Gesichtsfeldes des rechten Auges auf die Leinwand 10, der Projektor 20 die rechte Hälfte des Gesichtsfeldes des rechten Auges auf die Leinwand 12. Beide Bilder ergänzen sich zum gesamten Gesichtsfeld des rechten Auges an der definierten Betrachterposition.

Für einen Betrachter, der sich in der Anordnung der Figur 1 auf der Position P befindet und der eine Brille trägt, deren linkes Glas nur horizontal polarisiertes und deren rechtes Glas nur vertikal polarisiertes Licht durchlässt, entsprechen die jeweils projizierten Lichtbilder den Wahrnehmungsverhältnissen beim räumlichen Sehen in der Wirklichkeit. Bei diesem Betrachter entsteht daher ein räumlicher Eindruck von der dargestellten Szene. Dieser räumliche Eindruck wird durch die Abdeckung eines großen Gesichtsfeldes auf den in rechtwinkliger Anordnung stehenden 2,50m hohen und 3,30m breiten Leinwänden besonders stark ausgeprägt.

Die dargestellte Szene wird mit einer Erneuerungsrate von ca. 50 Hz aktualisiert. Dabei kann dem Betrachter beispielsweise der Eindruck vermittelt werden, einzelne Teile der Szene würden sich im Raum bewegen oder aber, der Betrachter würde sich relativ zur Szene bewegen. Durch das Eingabegerät 48 ist der Betrachter

auch in der Lage, selbst Einfluss auf die Entwicklung der dargestellten Szene zu nehmen. Mit einer Gyroskop-Maus kann er beispielsweise die scheinbare Betrachterposition relativ zur Szene verändern und gewinnt so den Eindruck, sich selbst schwebend, oder bei Verwendung eines Walking-Devices auch gehend, durch die Szene zu bewegen.

Höhere Bilderneuerungsraten als 50 Hz ändern nicht die ablaufenden, weiter unten dargestellten Bildberechnungs- und Projektionssteuerungsprozesse, sondern lediglich die Wiederholfrequenz, mit der sie ablaufen. Die höchst mögliche Erneuerungsraten ist allein eine Frage der Hardwareausstattung der PCs 22 bis 30 und der Projektoren. Die Entwicklung der Hardware geht mit großen Schritten hin zu leistungsfähigeren, schnelleren Prozessoren. Auch eine Erneuerungsraten von 100 Hz, die aus wahrnehmungsphysiologischer Sicht besonders günstig ist, ist mit derzeit erhältlicher Hardware mit verhältnismäßig geringem Kostenaufwand zu realisieren.

Wichtig für die Erzielung des räumlichen Eindrucks von der Szene ist die synchrone Projektion aller vier jeweils aktuellen Teilbilder der Szene. Die auf den PCs 22 bis 30 ablaufenden Bildberechnungs-, Steuer-, und Signalisierungsprozesse werden bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein Master/Client-System synchronisiert, das weiter unten anhand von Figur 5 im einzelnen dargestellt ist.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt der Anordnung aus Figur 1. Er umfasst die Leinwände 10 und 12, die Projektoren 14 bis 20 und die von ihnen erzeugten Lichtkegel 34 und 36. Anhand des Lichtkegels 36 wird im folgenden das Problem der Zweifachstreuung von Lichtstrahlen an den Streuflächen 10 und 12 erläutert.

Neben gestrichelt gezeichneten Randstrahlen 36a und 36b des Lichtkegels 36 ist ein weiterer Lichtstrahl 36c wiedergegeben, der vom Projektor 18 oder 20 ausgehend die Streufläche 40 der Leinwand 12 an einer Stelle S1 nahe ihrem linken Rand trifft, an dem die Streufläche 38 unter rechtem Winkel anschließt. Die Rückstreuung des dem Strahl 36c folgenden Lichts an der Streufläche 40 erfolgt in einen großen Winkelbereich und weist ein Intensitätsmaximum in einem Winkel auf, der dem Reflexionsgesetz folgend gleich dem Einfallswinkel des Strahls 36c auf die Streufläche 38 ist. Ein großer Teil des durch den Strahl 36c einfallenden Lichts folgt daher nach der Streuung an der Streufläche 40 einem Strahl 36c' und fällt so an einer Stelle S2 auf die Streufläche 38. Von dort gelangt, denselben Gesetzen

gehorchend, wiederum ein Teil des Lichtes dem Strahl 36c" folgend zum Betrachter an der Position P. Störend für den Betrachter überlagert dieses Streulicht des Strahls 36c" das von der Stelle S2 in seine Richtung gestreute Licht des Bildes, das der Projektor 14 oder 16 auf die Leinwand 10 wirft. Dieser Störeffekt macht sich im Eckbereich der beiden Streuflächen bemerkbar. Er beeinträchtigt den angestrebten räumlichen Bildeindruck.

Figur 3 zeigt als Lösung dieses Problems ein zweites Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur räumlichen Visualisierung in einer vereinfachten Draufsicht. In vielen Merkmalen gleicht der Aufbau dieser Anordnung dem des Ausführungsbeispiels der Figur 1. Für gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiele gleiche Bestandteile der vorliegenden Anordnung werden daher gleiche Bezugszeichen verwendet. Die nachfolgende Beschreibung konzentriert sich auf die Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel.

Zur Vermeidung einer störenden Zweifachstreuung im Eckbereich weist die vorliegende Anordnung zwischen zwei Leinwänden 50 und 52 eine dritte Leinwand 54 auf, die unter stumpfen Winkeln  $\gamma_1$  (Gamma1) und  $\gamma_2$  (Gamma2) an die Leinwände 50 bzw. 52 anschließt. Durch den Anschluss der Leinwände aneinander unter stumpfem Winkel wird vermieden, dass große Teile des in den Eckbereichen der Leinwände gestreuten Lichts auf die jeweils angrenzende Leinwand gestreut werden und von dort zum Betrachter gelangen. Zur Vermeidung der Mehrfachstreuung sollten die Winkel Gamma 1 und Gamma 2 mehr als 110 Grad betragen. Als optimal wird eine Anordnung betrachtet, bei der beide Winkel 135 Grad betragen. Die Leinwand 54 sollte eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweisen, um auch eine störende Zweifachstreuung zwischen den Leinwänden 50 und 52 effektiv zu unterdrücken.

Die Leinwand 54 weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine geringere Breitenerstreckung auf als die Leinwände 50 und 52, aber dieselbe Höhe. Eine größere Breitenerstreckung der Leinwände 50 und 52 ist grundsätzlich nicht notwendig, um die Zweifachstreuung zu vermeiden. Sie ermöglicht jedoch die Abdeckung eines größeren Gesichtsfeldes eines Betrachters an der Position P. Die Leinwände 50 und 52 sind hier ca. 3,30m breit und 2,50m hoch. Die Leinwand 54 ist ca. 0,80m breit und 2,50 m hoch. Ansonsten ist sie grundsätzlich gleich gebaut wie die Lein-

wände 10 und 12 aus Figur 1. Auch hinsichtlich der Verbindung der Wände 50, 52 und 54 gilt das zur Anordnung der Figur 1 Gesagte analog.

Bei der Anordnung der Figur 3 werden von den Projektoren 14 und 16 jeweils zwei Teilbilder projiziert. Ein erstes Teilbild mit Randstrahlen 58 und 60 bedeckt die Leinwand 50, ein zweites Teilbild mit Randstrahlen 60 und 62 die Leinwand 54 von ihrem linken Rand, an dem sie an die Leinwand 50 anschließt, bis zu einer Position M auf der Leinwand 54. Ebenso werden von den Projektoren 18 und 20 jeweils zwei Teilbilder projiziert. Ein erstes Teilbild mit Randstrahlen 66 und 68 bedeckt die Leinwand 52 und ein zweites Teilbild mit Randstrahlen 68 und 70 die Leinwand 54 von ihrem rechten Wand, wo sie an die Leinwand 52 anschließt, bis zur Position M. An der Position M grenzen also die jeweiligen zweiten Teilbilder der Projektoren 14 bis 20 aneinander. Durch eine entsprechende Justierung der Projektoren ist gewährleistet, dass die Bilder nahtlos aneinander grenzen.

Die Position M liegt im vorliegenden Beispiel in der Mitte der Breitenerstreckung der Leinwand 54. Sie kann grundsätzlich an jeder Position bezüglich der Breitenerstreckung vorgesehen sein. Eine unsymmetrische Anordnung hat jedoch unter anderem den Nachteil, dass die den Projektoren 14 bis 20 zugeordneten Graphikrechner unterschiedlich große Bildfelder zu berechnen haben. Mit der Größe der zu berechnenden Bildfelder wächst auch die zur Bildberechnung benötigte Zeit. Durch eine unsymmetrische Bildfeldverteilung würden also zwei Graphikrechner entlastet, zwei andere aber zusätzlich belastet. Da der die Bildberechnungsprozess, der die längste Zeit in Anspruch nimmt, die maximale Bilderneuerungsrate bestimmt, wie unten näher erläutert wird, begünstigt die symmetrische Aufteilung der zweiten Teilbilder auf der Leinwand 54 eine hohe Bilderneuerungsrate.

Die Winkel  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  können unterschiedlich sein. Im vorliegenden Fall sind sie jedoch gleich und betragen 135 Grad. Ein Betrachter an der Position P schaut frontal auf die Streuwand 54. Die Winkel  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  sind bei der Berechnung der auf die Leinwände 50, 52 und 54 zu projizierenden Lichtbilder zu berücksichtigen, wie unten anhand von Figur 4 näher erläutert wird. Wären die Winkel  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  unterschiedlich, hätten wiederum die Graphikrechner 26 und 28 für die Berechnung der ersten und zweiten Teilbilder auf den Leinwänden 52 und 54 andere Bildberechnungsprozesse abzuarbeiten als die Graphikrechner 24 und 24 für die Teilbilder auf den Leinwänden 50 und 54. Die dadurch mögliche unsymmetrische Be-

lastung der Graphikrechner könnte, wie auch im letzten Absatz beschrieben, die Geschwindigkeit des Systems beeinträchtigen. Daher wird eine Anordnung der Leinwände 50 bis 54 mit gleichen Winkeln  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  bevorzugt.

Figur 4 zeigt eine Skizze eines Lichtbildes 72, das vom Projektor 18 auf die Leinwand 52 sowie die rechte Hälfte der Leinwand 54 zwischen der Position M und ihrem rechten Rand geworfen wird. Das Lichtbild 72 ist in zwei Teilbilder (Viewports) unterteilt, ein Hauptbild 74 und ein Randbild 76. Das Hauptbild 74 ist so bemessen, dass es die Streufläche der Leinwand 52 bis zu ihrem linken Rand ausleuchtet, an dem sie an die Leinwand 54 grenzt. Das Randbild 76 ist so bemessen, dass es die rechte Hälfte der Streufläche der Leinwand 54 zwischen der Position M und ihrem rechten Rand ausleuchtet, an dem sie an die Leinwand 52 grenzt.

Beide Teilbilder stellen unterschiedliche Ausschnitte einer Szene dar. Die Szene enthält einen mit einem Linienraster versehenen Boden 78. Im Hauptbild verläuft ein Teil der Linien, beispielsweise eine Linie L1 des Linienrasters parallel zur Unterkante des Lichtbildes 32. Ein zweiter Teil der Linien, beispielsweise die Linien L2 und L3, läuft auf einen gemeinsamen Fluchtpunkt F zu, wie es in der zweidimensionalen Darstellung räumlicher Szenen zur Erweckung des Tiefeneindrucks üblich ist. Auch im Nebenbild 76 ist der Boden 78 dargestellt. Linien L4 und L5 des Linienrasters verlaufen im Nebenbild 76 jedoch unter einem Winkel zu den entsprechenden Linien L1 und L2. Insbesondere verläuft die Linie L4 nicht parallel zur Unterkante des Bildes. Der Winkel  $\delta$  (delta) ist so gewählt, dass für einen Betrachter der gesamten Lichtbildes 72 auf den Leinwänden 52 und 54 (Figur 3) der Eindruck entsteht, die Linien L1 und L4 bildeten eine durchgehende, parallel zur Bildunterkante verlaufende Gerade. Auch in der Szene scheinbar in die Tiefe führende Linien L5 und L6 im Nebenbild 76 verlaufen in der Zeichenebene der Figur 4 auf einen anderen Fluchtpunkt F' zu. Jedoch entsteht beim Betrachter des auf die Leinwände 52 und 54 projizierten Bildes der Eindruck, die Linien würden ebenfalls auf den Fluchtpunkt F zu laufen.

Der Winkel  $\delta$  (delta) und die Lage des Fluchtpunktes F', die in die Berechnung des Randbildes 76 eingehen, sind vom Winkel  $\gamma_2$  (Gamma2) abhängig, mit dem die Leinwände 52 und 54 aneinander anschließen. Weiterhin hängen sie von der Ausrichtung des Projektors 18 bzw. 20 relativ zur Streufläche 52 (oder 54) ab. Im Ausführungsbeispiel der Figur 3 sind die Projektoren 18 und 20 so ausgerichtet, dass

die optische Achse des Projektorobjektivs und die Flächennormale der (ebenen) Streufläche 52 in der Projektion auf die Zeichenebene parallel verlaufen.

Vor der Darstellung der Struktur des Graphikrechensystems, das in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 mit den untereinander vernetzten PCs 22 bis 30 realisiert wird, wird nachfolgend zunächst auf den in diesem Zusammenhang zentralen Begriff der Szenengraphdatei eingegangen.

Mit dem Begriff Szenengraphdatei wird auf den unter anderem aus dem Dateiformat VRML (Virtual Reality Modeling Language) bekannten Begriff des Szenengraphen Bezug genommen.

Ein Szenengraph dient zur Beschreibung einer dreidimensionalen (3D-) Szene. Die logische Struktur eines Szenengraphen ist eine Baumstruktur. Verzweigungspunkte dieser Baumstruktur heißen "Knoten" (Nodes). Der Ursprung der Baumstruktur ist "die Welt". Diese zerfällt sich beispielsweise in Knoten mit den Namen "Haus", "Baum" oder "Straße". Jeder dieser Knoten kann eine Anzahl Unterknoten aufweisen. So kann der Knoten "Haus" beispielsweise die Unterknoten "Zimmer1", "Zimmer2" etc. aufweisen. Ein Knoten besteht aus einem oder mehreren Feldern (Fields), die einen bestimmten Wert enthalten und somit den Zustand des Knotens beschreiben. Die in den Knoten enthaltenen Felder sind stets mit Standardwerten versehen, so dass man nur bei Abweichungen den Feldwert neu belegen muss.

Interaktion und Animation werden in der VRML-Welt durch "Ereignisse" (Events) beschrieben, die auf Knoten einwirken und entsprechend Feldinhalt und somit auch den Knotenzustand verändern.

Es sind unterschiedliche Arten von Knoten bekannt. Dazu gehören

a) Graphische Primitiven

Zu diesen zählen beispielsweise Dreiecke, Kugeln, Lichtquellen, Materialien und Texturen.

b) Kontrollknoten

Zu diesen zählen beispielsweise Transform-Knoten, Switch-Knoten oder Interpolationsknoten. Mit Transform-Knoten werden alle untergeordneten Knoten im

Raum verschoben, skaliert und gedreht. Mit Hilfe von Switch-Knoten kann die Anzeige auf einen Unterbaum eines Szenengraphs beschränkt werden. Interpolationsknoten geben Bewegungsbahnen vor.

c) Routeknoten

Routeknoten stellen Verbindungen zwischen den Feldern von Knoten her. Sie erstellen gewissermaßen eine Art Nachrichtenkanal zwischen diesen Feldern.

d) Sensorknoten

Sensorknoten (auch einfach Sensoren genannt) reagieren auf Benutzereingaben. Zu den Sensorknoten zählen beispielsweise Proximity-, Time-, Touch-, Plane-, Sphere- und Cylinder-Knoten. Touch-Sensoren reagieren auf Mausklicks, Plane-, Sphere- und Cylinder-Knoten erlauben das interaktive Verschieben von Objekten.

Sensoren sind Quellen für Ereignisse. Durch das Anklicken eines in einen Touch-Sensor eingebetteten Objektes mit der Maus kann beispielsweise ein anderes (Ziel-)Objekt verändert werden. Der Mausklick ist das Ereignis, welches von dem Objekt registriert wird. Dieses sendet eine Nachricht an das Zielobjekt, das daraufhin den Inhalt eines Feldes und somit seinen Zustand ändert. Die beiden Objekte müssen vorher durch eine Route miteinander verbunden werden.

e) Proto-Knoten

Proto-Knoten sind nicht vorgegebene, sondern selbst definierte Knoten mit ebenfalls selbst definierten Feldern. So kann ein Tisch-Proto geschrieben werden, der als Feldwerte die Ausmaße eines Tisches und seine Farbe enthält.

f) Script-Knoten

Skripte dienen der Modellierung von komplexeren Verhaltensweisen. Sie sind in einer von VRML unterstützten Skript-Sprache VRMLScript erstellbar. Skripte sind wie andere Knoten in einen Szenengraphen eingebunden und können Ereignisse über Routes senden und empfangen.

Für jede Aktualisierung einer veränderlichen 3D-Szene wird die Baumstruktur des Szenengraphs durchquert. Veränderungen des Szenengraphs können zum einen

aus diesem selbst heraus entstehen, beispielsweise aufgrund von Interpolationsknoten. Solche Veränderungen entstehen also ohne Benutzerinteraktion, sondern etwa aufgrund eines geänderten Zustandes eines Time-Sensors. Veränderungen des Szenengraphs können zum anderen durch Benutzereingaben veranlasst werden, beispielsweise durch einen Mausklick.

Zur Berechnung und Darstellung von Szenengraphen sind verschiedene Browser bekannt, so beispielsweise der als Open Source erhältliche VRML97-Browser Blaxxun 4.2.

Figur 5 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Graphikrechensystems, wie es in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 verwendet wird. Dargestellt sind die auf den Rechnern 22 bis 30 implementierten logischen Strukturen, nicht ihre hardwaremäßige Realisierung.

Das Blockschaltbild beschränkt sich auf den Master 30 sowie die Graphikrechner 22 und 24 und die zugeordneten Lichtbildprojektoren 14 bzw. 16. Auf den Graphikrechnern 26 und 28 in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 ist grundsätzlich dieselbe Struktur implementiert wie auf den Graphikrechnern 22 und 24. Die bestehenden geringfügigen Unterschiede ergeben sich von selbst aus der nachfolgenden Beschreibung.

Der Master 30 und die Graphikrechner 22 bis 28 sind über zwei logische Kanäle mit einander verbunden. Auf einem ersten Kanal 82 übersendet der Master 30 den Clients 22 bis 28 zyklisch Nachrichten, die der Synchronisation der vom Master und den Clients zur Bildberechnung verwendeten Parameter und der Synchronisation der Ausgabe der von den Clients berechneten Lichtbilder an die zugeordneten Projektoren dienen. Auf einem zweiten Kanal 80 tauschen Master und Graphikrechner zum einen Nachrichten aus, die in erster Linie dem Aufbau und der Aufrechterhaltung der Kommunikation zwischen Master und Graphikrechnern dienen. Beispiele der über die Kanäle versandten Nachrichten werden weiter unten im Anschluss an die Strukturbeschreibung im einzelnen erläutert.

Der Master 30 weist einen Szenengraphspeicher 84 auf, in dem eine oder mehrere Szenengraphdateien enthalten sind. Den Szenengraphspeicher 84 bildet beispielsweise eine Festplatte oder ein Speicherbereich einer auch anderweitig belegten

Festplatte. Weiterhin verfügt der Master 30 über einen Arbeitsspeicher 86, in den für die Darstellung eines Szenengraphen die entsprechende Szenengraphdatei geladen wird. Der Arbeitsspeicher 86 wird von einem oder mehreren RAM-Bausteinen gebildet.

Der Masterrechner 30 weist weiterhin einen Graphikmaster 88 auf. Der Graphikmaster ist eingangsseitig mit der Maus 44, der Tastatur 46 sowie einem oder mehreren Eingabegeräten 48 verbunden. Mögliche Eingabegeräte 48 wurden oben anhand von Figur 1 beschrieben. Der Graphikmaster weist eine Ein- und Ausgabe-Schnittstelle 89 auf, die ihn mit dem ersten Nachrichtenkanal 82 verbindet.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel weist der Graphikmaster zusätzlich die Struktur- und Funktionsmerkmale einer Graphikclienteinheit auf. Über einen Bilddatenausgang ist der Graphikmaster daher zusätzlich mit einer Graphikrecheneinheit 90 verbunden, die wiederum über einen Signalausgang einen Monitor 42 steuert.

Weiterhin weist der Masterrechner 30 einen Synchronisationsmaster 92 auf, der mit dem Graphikmaster 88 verbunden ist. Der Synchronisationsmaster hat eine Ein- und Ausgabeschnittstelle 93, die ihn mit dem zweiten Nachrichtenkanal 80 verbindet. In Figur 5 nicht dargestellt sind die Einheiten des Masterrechners 30, die die Soundsteuerung übernehmen. Hierzu weist der Master eine 3D-Soundkarte auf, an die ein externer Verstärker angeschlossen ist.

Auf den Graphikrechnern 22 und 24 sind weitgehend gleiche Strukturen realisiert. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich daher auf den Graphikrechner 22. In Figur 5 sind gleiche Strukturen der Graphikrechner 22 und 24 mit gleichen Bezugssymbolen versehen.

Der Graphikrechner 22 weist einen Graphikclient 94 auf, der auf einen Arbeitsspeicher 96 zugreift. Der Graphikclient 94 hat eine Ein- und Ausgabeschnittstelle 95, die ihn über den ersten Kanal 82 mit dem Graphikmaster 88 verbindet. Weiterhin weist der Graphikclient einen Bilddatenausgang auf, über den er mit einer Graphikrecheneinheit 98 verbunden ist. Die Graphikrecheneinheit wiederum steuert über ihren Signalausgang den Betrieb des Projektors 20.

Der Graphikrechner 22 weist schließlich einen Synchronisationsclient 100 auf, der mit dem Graphikclient 94 verbunden ist. Der Synchronisationsclient 100 hat eine Ein- und Ausgabe-Schnittstelle 101, die ihn über den zweiten Kanal 80 mit dem Synchronisationsmaster 92 verbindet.

Im folgenden werden die Funktionsmerkmale des Graphikmasters 88, des Graphikclients 94 sowie , des Synchronisationsmasters 90 und des Synchronisationsclients 100 beschrieben.

Den Graphikmaster 88 kann als Hardware-Baustein oder in Form eines ausführbaren Programms im Masterrechner implementiert sein. Der Graphikmaster verfügt über die Funktionsmerkmale eines VRML-Browsers. VRML-Browser finden weit verbreitet Anwendung zur Darstellung dreidimensionaler Szenen, die in VRML beschrieben sind. Der Graphikmaster 88 basiert auf dem VRML97-Browser Blaxxun 4.2. Zu den Funktionsmerkmalen des VRML-Browsers gehören ein Ladeprozess, der eine Szenengraphdatei von der Festplatte in den Arbeitsspeicher lädt. Weiterhin eine Bildberechnungsroutine, die eine im Arbeitsspeicher vorhandene Szenengraphdatei in Abhängigkeit von empfangenen Eingangssignalen der Geräte 44 bis 46 oder einem Signal eines hier nicht dargestellten internen Zeitgebers traversiert, d.h. einen Teil der oder alle in einer Szenengraphdatei enthaltenen Szenengraphparameter neu berechnet. Die neu berechneten Szenengraphparameter ersetzen oder ergänzen die bis dahin im Arbeitsspeicher abgelegten Szenengraphparameter. Der Begriff des Szenengraphparameters wird unten anhand der Beschreibung von State-Objekten näher erläutert. Unter bestimmten Voraussetzungen ist auch das Überschreiben der betreffenden Szenengraphdatei im Szenengraphspeicher 84 möglich. Weiterhin verfügt der Graphikmaster über Routinen, die in Abhängigkeit von den aktuellen Szenengraphparametern die Bilddaten eines aktuellen Rasterbildes der in der Szenengraphdatei beschriebenen Szene berechnen. Dabei kann auch lediglich ein Ausschnitt der Szene berechnet werden. Das Rasterbild besteht aus matrixförmig angeordneten Bildelementen. Jedes berechnete Bildelement kann neben seinen Matrixkoordinaten in bekannter Weise durch 3 Farbwerte beschrieben werden.

Die Graphikclients 94 weisen grundsätzlich dieselben Funktionsmerkmale auf, führen ihre Berechnungen jedoch nicht wie der Graphikmaster 88 in Abhängigkeit von aktuellen Eingabegerätesignalen durch. Vielmehr sind sie eingangsseitig mit

dem ersten Kanal 82 verbunden und empfangen die zur Aktualisierung ihres jeweiligen Teilbildes erforderlichen Parameter vom Graphikmaster. Dieser ist bei der Bildaktualisierung stets ein Bild im Voraus. Jedem der Graphikclients 94 der einzelnen Graphikrechner 22 bis 28 ist eine Kennzeichnung fest zugeordnet. Anhand dieser Kennzeichnung sind die Graphikclients 94 in der Lage, aus den vom Graphikmaster erhaltenen Parametern das jeweilige Teilbild der nächsten Szene für das jeweilige Auge zu berechnen. Die Kennzeichnung kann verändert werden, wenn ein Graphikrechner ein anderes Teilbild für einen anderen Projektor berechnen soll.

Der Graphikmaster 88 und die Graphikclients 94 verfügen über zusätzliche Funktionsmerkmale, die einen Nachrichtenaustausch auf dem ersten Kanal 82 ermöglichen. Im folgenden werden Nachrichten beschrieben, die der Graphikmaster und Graphikclients auf dem ersten Kanal 82 austauschen:

a) Update-Nachricht

Der Graphikmaster 90 ist den Graphikclients 94 bei der Berechnung der Szene stets um ein Bild (Frame) voraus. Nachdem der Graphikmaster das Bild des Szenengraphs berechnet hat, enthält die Szenengraphdatei ihre aktuellen Werte. Mit einer Update-Nachricht übermittelt der Graphikmaster allen Graphikclients die aktuellen Werte der Szenengraphdatei für den von ihm vorausberechneten Frames, die die Graphikclients benötigen, um ihr nächstes jeweiliges Teilbild für das jeweilige Auge berechnen zu können.

Um die Szenengraphen der Graphikclienten an den aktuellen Zustand des Szenengraphen auf dem Server anzupassen, werden lediglich die Sensoren gekapselt. Alle anderen Zustandsänderungen beruhen auf den Werten, die die Sensoren liefern.

Eine Update-Nachricht enthält die aktuellen Werte aller State-Objekte der geladenen Szenengraphdatei, die sich gegenüber dem zuletzt vorangegangenen Bildberechnungszyklus verändert haben. State-Objekte sind alle Objekte einer Szenengraphdatei, deren Parameterwerte allen Graphikclients 94 in jedem Bildberechnungszyklus identisch vorliegen müssen, um mit ihren jeweiligen Teilbildern insgesamt ein und dieselbe Szene darstellen zu können, und die daher Zyklus für Zyklus synchronisiert werden müssen. Beispielsweise sind Felder von Sensorknoten Sta-

te-Objekte und daher in einer Update-Nachricht enthalten, wenn sie sich gegenüber dem letzten Zyklus verändert haben. Zu den State-Objekten, die in der Update-Nachricht enthalten sind gehört auch eine Kameraposition, bezüglich derer die Szene zu berechnen ist und die Orientierung der Kamera.

Der Graphikmaster testet für die Zusammenstellung einer anstehenden Update-Nachricht alle State-Objekte der Szenengraphdatei auf Änderung gegenüber dem letzten Bildberechnungszyklus. Falls eine Änderung bei einem State-Objekt festgestellt wird, wird die Update-Nachricht um die Werte dieses State-Objektes erweitert. Die gesamte Update-Nachricht wird in einem Stück vom Graphikmaster 88 an die Graphikclients 94 gesendet.

Damit die Graphikclients alle vom Graphikmaster aktualisierten Werte der State-Objekte identifizieren können, verwendet der Graphikmaster 88 in der Update-Nachricht zur eindeutigen Identifizierung von State-Objekten eine Kennzeichnung (ID), die sich zusammensetzt aus

- dem Dateinamen der betreffenden Szenengraphdatei
- der Zeilennummer innerhalb der Szenengraphdatei, in der das State-Objekt definiert wird,
- der Spaltennummer (oder laufenden Nummer des Zeichens) innerhalb dieser Zeile, ab dem das State-Objekt definiert wird,
- dem Typ der Erzeugung des State-Objektes (beispielsweise durch ein Skript oder einen Proto-Knoten) und, falls dieses insoweit definierte State-Objekt mehrfach aktiviert ist,
- einer Indexnummer für jedes dieser aktiven State-Objekte.

State-Objekte werden jeweils beim ersten Benutzen ihrer Kennzeichnung angelegt. Es wird zwischen Kennzeichnungen für statische und dynamische State-Objekte unterschieden. Dynamische State-Objekte werden beim Neuladen einer Szenengraphdatei automatisch entfernt. State-Objekte werden somit sowohl beim Laden eines Szenengraphdatei angelegt wie auch beim Eintreffen von Update-Nachrichten, die State-Objekte enthalten. Da Graphikmaster 88 und Graphikclient 94 dieselbe Szene laden, spielt es keine Rolle, welcher von beiden ein State-Objekt zuerst anlegt. Bei der Berechnung des ersten Bildes der Szene werden die Werte automatisch abgeglichen.

Die Tatsache, dass der Graphikmaster 90 einen Frame "Vorsprung" gegenüber den Graphikclients hat, ist von großem Vorteil für die Synchronisierung der Bildberechnung durch die Graphikclients und der Projektion der von ihnen berechneten Teilbilder. Alle Graphikclients erhalten die Update-Nachricht zum selben Zeitpunkt und beginnen dann mit ihrer individuellen Bildberechnung.

In einer Update-Nachricht müssen nicht alle State-Objekte enthalten sein. Die Veränderungen des Szenengraphen, die durch die Eingabegeräte 44 bis 48 bewirkt sind (sondern zum Beispiel durch den Time-Sensor), müssen nicht synchronisiert werden, da die Systemzeit synchronisiert wird und die Änderungen deterministisch von allen Graphikclients gleichzeitig durchgeführt werden. Es genügt daher, wenn nur die von den Eingabegeräten 44 bis 48 direkt veränderten State-Objekte enthalten sind. Alle anderen Veränderungen des Szenengraphen sind automatisch synchron (zum Beispiels die Positionen des Betrachters der Objekte, die Ausführung von Skripten). Eine Ausnahme bilden Movie-Knoten, die als Texturen verwendet werden können. Diese werden gesondert synchronisiert, damit sie von allen Graphikclients synchron laufen.

b) Berechnen-Fertig-Nachricht

Die Berechnen-Fertig-Nachricht wird von einem Graphikclient an den Masterclient gesendet, wenn der betreffende Graphikclient die Bildberechnung "sein" Teilbild der nächsten anzuzeigenden Szene abgeschlossen hat. Mit der Berechnen-Fertig-Nachricht wird zugleich auch die Kennzeichnung des absendenden Graphikclients übermittelt. Auf diese Weise kann der Graphikmaster stets zuordnen, welche Graphikclients die Berechnung schon abgeschlossen haben und welche noch nicht.

c) Bild-Umschalten-Nachricht

Die Bild-Umschalten-Nachricht wird vom Master zugleich an alle Clients gesendet. Mit ihr gibt der Master allen Clients zugleich das Kommando, die fertig berechneten Bilder über die jeweilige Graphikrecheneinheit an an den angeschlossenen Projektor auszugeben. Die Bild-Umschalten-Nachricht wird nur gesendet, wenn der Graphikmaster 88 nach der letzten Update-Nachricht eine Berechnen-Fertig-Nachricht von allen aktiven Graphikclients 94 empfangen hat.

Die Bild-Umschalten-Nachricht ist ein weiteres wesentliches Element für die Synchronisation der Bildprojektion bei den Anordnungen der Figuren 1 und 3. Da der Graphikmaster abwartet, bis alle Graphikclients zur Ausgabe der berechneten Teilbilddaten an die jeweilige Graphikrecheneinheit 98 bereit sind und dann alle Graphikclients zugleich auf die Bild-Umschalten-Nachricht hin ihre jeweiligen Teilbilddaten ausgeben, ist eine synchrone Projektion der aktuellen Teilbilder der Szene gewährleistet.

Der Funktionsmerkmale des Synchronisationsmasters 92 und der Synchronisationsclients 100 dienen in erster Linie der Initialisierung und Steuerung des Master-/Client-Netzwerks sowie der Übermittlung von Browserkommandos. Der Synchronisationsmaster 92 und die Synchronisationsclients 100 kommunizieren hierfür über den zweiten Nachrichtenkanal 80. Der zweite Kanal wird auf dem Masterrechner und auf den Graphikrechnern von einem parallelen Thread bedient. Die Kommunikation erfolgt vorzugsweise unter Verwendung von UDP (User Datagram Protocol). Ein Nachrichtenaustausch über TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol) ist alternativ ebenfalls möglich, hat sich jedoch als langsamer erwiesen. Beide Varianten werden durch Synchronisationsmaster und -clients unterstützt.

Zu den auf dem zweiten Kanal 80 ausgetauschten Nachrichten zählen:

a) Ping-Nachricht

Diese Nachricht entspricht der aus dem TCP/IP-Protokoll bekannten Ping-Nachricht. Mit der Ping-Nachricht wird ein angegebener Adressat zum sofortigen Rücksenden einer Ping-Empfangsnachricht an den Absender aufgefordert. Ping-Nachrichten können vorliegend sowohl vom Master an jeden Client wie auch von jedem Client an den Master gesendet werden. Eine Kommunikation der Clients untereinander ist nicht vorgesehen. Die Ping-Nachrichten werden zum Testen von Timeouts der Netzwerkkommunikation verwendet. Der Synchronisationsmaster 92 testet mehrmals pro Sekunde das Vorhandensein der Synchronisationsclients. Bei Timeouts wird ein erneuter Aufbau des Master/Client-Netzwerks versucht.

b) Szenengraph-Laden-Nachricht

Diese Nachricht wird vom Synchronisationsmaster an alle Clients versandt. Sie enthält eine URL und eine Szenenkennzahl. Mit dieser Nachricht werden die

Clients aufgefordert, die an der angegebenen URL gespeicherte Szenengraphdatei zu laden. Die Szenenkennzahl, beispielsweise eine ganze Zahl, wird mit jeder Berechnung inkrementiert und dient der Kennzeichnung des jeweils aktuellen Stadiums des Szenengraphen.

c) Laden-Komplett-Nachricht

Diese Nachricht wird von jedem der Synchronisationsclients an den Synchronisationsmaster versandt, wenn nach dem Erhalt einer Szenengraph-Laden-Nachricht vom Master her das Laden des Szenengraphs den Arbeitsspeicher des betreffenden Graphikrechners beendet wurde.

d) Rendering-Modus

Diese Nachricht wird vom Master an alle Clients versandt und enthält als Parameter Angaben zur Art und Weise der von den Clients durchzuführenden Bildberechnung. Als Angaben zum Rendering-Modus können beispielsweise Wireframe an/aus, Gouraud an/aus, Texturen berechnen an/aus, oder Texturfilterung an/aus in der Nachricht enthalten sein.

e) Verbindungsneuaufbau-Nachrichten

Beim Ausbleiben einer Antwort auf eine Ping-Nachricht innerhalb einer bestimmten Zeitspanne wird geht der Sender der Ping-Nachricht von einem Zusammenbruch der Netzwerkkommunikation aus.

Wenn die Verbindung zusammenbricht wie wenn der Synchronisationsmaster abstürzt und neu gestartet wird, erhält der Synchronisationsmaster von allen Synchronisationsclients eine Verbindungs-Neuaufbau-Nachricht, die die im jeweiligen Arbeitsspeicher aktuell geladene URL und Szenenkennzahl enthält. Nicht immer sind alle Graphikclients bei der Berechnung ein und derselben Szene. Beispielsweise kann ein Graphikclient noch mit dem Empfangen der Update-Nachricht beschäftigt sein, wobei im Arbeitsspeicher noch die Szenenkennzahl der zuletzt berechneten Szene enthalten ist. Ein anderer Graphikclient kann schon mit der Berechnung der Szene begonnen haben, wobei im Arbeitsspeicher die Szenenkennzahl der neuen Szene enthalten ist. In den Arbeitsspeicher des Masterrechners wird daher die URL mit der höchsten Szenenkennzahl geladen. Der Synchronisationsmaster sendet diese URL und Szenenkennzahl an alle Clients. Dadurch sind

alle Graphikclients nach dem Neuaufbau der Verbindung wieder synchron und berechnen dieselbe Szene.

Wenn ein Graphikclient oder ein Synchronisationsclient abstürzt und neu gestartet wird, so verbindet sich der Synchronisationsclient 100 mit dem Synchronisationsmaster und sendet eine Verbindungs-Neuaufbau-Nachricht, die als aktuell geladene URL ein Leerzeichen angibt und eine Szenenkennzahl 0. Der Master sendet daraufhin mit einer Szenengraph-Laden-Nachricht die URL des zu ladenden Szenengraphs und die aktuelle Szenenkennzahl. Daraufhin lädt der Client die vom Master dargestellte Szene. Die anderen Synchronisationsclients ignorieren diese Nachricht, da sie diese Szene schon geladen haben. Auch wenn kein Absturz vorlag, sondern lediglich ein netzwerk-bedingter Timeout, stellen alle beteiligten Instanzen anhand der übersandten Nachrichten fest, dass sie dieselbe Szenengraphdatei mit derselben Szenenkennzahl geladen haben. Die Bildberechnung und -projektion kann ohne Neuladen oder Pause weitergeführt werden. Hierzu wird auch die Beschreibung der Figur 7 verwiesen.

#### f) Beenden-Nachricht

Diese Nachricht wird vom Synchronisationsmaster an alle Synchronisationsclients versandt und beendet die Bildberechnung und die Kommunikation zwischen ihnen.

Der Synchronisationsmaster verwaltet auch, welche der Clients aktiv sind. Nachrichten werden nur mit aktiven Clients ausgetauscht. Genauso wird von den Clients laufend überprüft, ob der Master noch arbeitet.

Grundsätzlich können auf dem ersten und dem zweiten Kanal beliebige Nachrichten zwischen dem Synchronisationsmaster und den Synchronisationsclients bzw. dem Graphikmaster und den Graphikclients übermittelt werden. Die gewählte Aufteilung hat den Vorteil, dass die Kommunikation zwischen Graphikmaster- und -Clients auf den Austausch der für die Bildberechnung und Synchronisierung der Bilddatenausgabe wesentlichen Nachrichten beschränkt ist und die Graphikmaster- und -clients daher nicht mit zusätzlichen Aufgaben belastet werden. Die Funktionsmerkmale der Synchronisationsmaster und -clients können von unterschiedlichen Graphikmastern genutzt werden. Grundsätzlich kann jede Art von Anwendung die Dienste der Synchronisationseinheiten nutzen. Anwendungen, die eine

zyklische Routinen nach Art eines Runtime-Loops durchführen, sind am leichtesten an die gegebenen Synchronisationsmöglichkeiten anzupassen.

Figur 6 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe. Das vorliegende Ausführungsbeispiel gleicht in weiten Teilen der anhand von Figur 5 beschriebenen Ausführungsform. Daher werden für gleiche Strukturelemente hier gleiche Bezugszeichen verwendet und nachfolgend lediglich die Unterschiede zur Vorrichtung der Figur 5 beschrieben.

Die Graphikclients 94 der Graphikrechner 22 und 24 sind ausgangsseitig mit einer Teilbildumschalteinheit 102 verbunden. Die Teilbildumschalteinheit weist zwei Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 auf. Der erste Bilddatenzwischenspeicher 104 ist mit der Graphikclienteinheit 94 des Graphikrechners 22 verbunden, der zweite Bilddatenzwischenspeicher 106 mit der Graphikclienteinheit 94 des Graphikrechners 24. Die Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 nehmen die von den zugeordneten Graphikclients 94 ausgegebenen Bilddaten auf.

Die Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 sind beide mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschalteinheit 102 verbunden. Zu einem Zeitpunkt können über den Bilddatenausgang entweder die im Bilddatenzwischenspeicher 104 oder die im Bilddatenzwischenspeicher 106 enthaltenen Bilddaten ausgegeben werden. Dies ist in Figur 6 durch einen Umschalter 108 gekennzeichnet.

Weiterhin weist die Teilbildumschalteinheit 102 einen Signaleingang auf, über den sie mit einer Schaltsteuereinheit verbunden ist. Die Teilbildumschalteinheit gibt in Abhängigkeit vom Zustand eines Signaleingangs entweder den Inhalt des ersten oder den zweiten Inhalt des zweiten Bilddatenzwischenspeichers über den Bilddatenausgang aus. Der Bilddatenausgang der Teilbildumschalteinheit 102 ist mit einer Graphikrecheneinheit 98 verbunden, an die wiederum ein Lichtbildprojektor 20 angeschlossen ist.

Die Steuerung der Bilddatenausgabe durch die Teilbildumschalteinheit 102 übernimmt die Schaltsteuereinheit 110, die mit einem Signaleingang der Teilbildumschalteinheit 102 verbunden ist und im vorliegenden Ausführungsbeispiel zusammen mit der Graphikrecheneinheit 98 und in ein Synchronisierungsmodul 111 in-

tegriert ist. Sie erzeugt abwechselnd ein erstes und ein zweites Signal, das an die Teilbildumschalteinheit gesendet wird. Mit dem ersten Signal wird die Teilbildumschalteinheit 102 zum Ausgaben des Inhaltes des ersten Bilddatenzwischenspeichers 104 über den Bilddatenausgang veranlasst. Mit dem zweiten Signal wird sie zum Ausgeben des Inhalts des zweiten Bilddatenzwischenspeichers 106 über den Bilddatenausgang veranlasst.

Die Schaltsteuereinheit 110 erzeugt das erste und zweite Signal mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz. Eine Signalperiode umfasst die Abgabe eines ersten Signals und eines zweiten Signals. Die Zeitspanne zwischen der Abgabe des ersten und zweiten Signals beträgt die Hälfte der Signalperiodendauer. Zur Einstellung der Signalabgabefrequenz sind verschiedene, in Figur 6 nicht näher dargestellte Methoden möglich. Zum einen kann die Schaltsteuereinheit 110 eine Frequenzsteuerung mit einem Steuereingang für Eingaben von extern aufweisen. An diesen Eingang kann beispielsweise die Graphikmastereinheit 88 angeschlossen werden. Auch eine Einstellung der Abgabefrequenz über einen manuellen Regler kann alternativ oder zusätzlich vorgesehen sein.

Die Schaltsteuereinheit 110 weist einen zweiten Signalausgang 110 auf, der parallel zum ersten Signalausgang das erste und zweite Signal abgibt. Über den zweiten Signalausgang werden die Signale vorliegend in Form von Infrarotlicht abgegeben. Sie werden von Empfängern 112 und 114 einer Shutterbrille 116 detektiert. Die Shutterbrille 116 weist ein linkes Glas 118 und ein rechtes Glas 120 auf. Die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) des linken und rechten Glases ist elektrisch mit hoher Frequenz (um 100 Hz) von hoch auf gering und umgekehrt umschaltbar. Die Transmission der beiden Gläser ist stets entgegengesetzt, so dass ein Träger der Shutterbrille stets nur durch ein Glas sehen kann. Mit dem Empfang des ersten bzw. zweiten Signals von der Schaltsteuereinheit wird ein Umschaltvorgang bei beiden Gläsern veranlasst.

Die Shutterbrille wird mit Hilfe des ersten Signals von der Schaltsteuereinheit so gesteuert, dass das linke Glas 118 durchlässig geschaltet wird, wenn das Teilbild für das linke Auge aus dem dafür vorgesehenen Bilddatenzwischenspeicher 104 an die Graphikrecheneinheit 98 ausgegeben und vom Projektor 20 projiziert wird. Zugleich wird das rechte Glas undurchlässig geschaltet. Sobald das zweite Signal detektiert wird, wird die Durchlässigkeit der beiden Gläser 118 und 120 umgekehrt.

Durch das zweite Signal wird zugleich der zweite Bilddatenzwischenspeicher 106 zur Ausgabe der Bilddaten des Teilbildes für das rechte Auge veranlasst, die von der Graphikrecheneinheit ohne wahrnehmbare Verzögerung in Steuersignale für den Projektor 20 umgesetzt und von diesem projiziert werden.

Figur 7 zeigt in zwei parallelen Flussdiagramm die Abfolge der einzelnen Schritte, die beim Laden einer darzustellenden Szenengraphdatei vom Synchronisationsmaster (links) und Synchronisationsclient (rechts) abgearbeitet werden. Das Laden einer Szenengraphdatei erfolgt in der Regel nur einmal unmittelbar vor Beginn der Darstellung einer neuen Szene, in Ausnahmefällen auch nach einem Absturz eines Graphikrechners.

Die Ladeprozedur beginnt mit einem Schritt M10, mit dem der Synchronisationsmaster 92 über den zweiten Kanal 80 ein "Szenengraph-Laden"-Kommando an alle Synchronisationsclients 100 sendet, die parallel mit einem Schritt C10 bis zum Empfang einer Nachricht ihre Eingänge überwachen. Das Übersenden des "Szenengraph-Laden"-Kommandos ist in Figur 6 durch einen gestrichelten Pfeil P10 von Block M10 zu Block C10 symbolisiert. Neben dem Befehl als solchem wird dabei die URL der Szenengraphdatei sowie eine Szenenkennzahl an den Client übermittelt, vgl. oben. Die Synchronisationsclients prüfen nach Empfang des Kommandos in einem Schritt C12 zunächst, ob die betreffende Szenengraphdatei schon in den Arbeitsspeicher des betreffenden Graphikrechners geladen ist. Ist dies nicht der Fall, wird die angegebene Szenengraphdatei mit den Werten der durch die Szenenkennzahl definierten Szene anschließend in einem Schritt C14 in den Arbeitsspeicher geladen. War sie dort schon vorhanden, wird der Schritt C14 übersprungen und gleich zum Schritt C16 verzweigt, mit dem eine "Laden-Komplett"-Nachricht über den zweiten Kanal 80 an den Synchronisationsmaster 92 gesendet wird. Auch das Übersenden dieser Nachricht ist in Figur 6 durch einen gestrichelten Pfeil P12 symbolisiert.

Unterdessen hat der Synchronisationsmaster mit Schritt M12 das Laden der im Schritt M10 definierten Szenengraphdatei in den lokalen Arbeitsspeicher 86 des Masterrechners 30 veranlasst. Mit Schritt M14 wartet der Synchronisationsmaster ab, bis von allen aktiven Synchronisationsclients eine "Laden-Komplett"-Nachricht eingetroffen ist. Erst wenn dies der Fall ist, veranlasst der Synchronisationsmaster

mit Schritt M16 den Start des Bildberechnungs- und Ausgabezyklus durch den Graphikmaster.

Der Bildberechnungs- und Ausgabezyklus ist in Figur 8 wiederum in Form zweier paralleler Flussdiagramme dargestellt. Das linke Flussdiagramm gibt die Schritte wieder, die der Graphikmaster durchführt, das rechte Flussdiagramm die Schritte, die jeder aktiver Graphikclient durchführt.

Die hier dargestellten Schritte des Graphikclients werden synchron, nicht jedoch notwendigerweise zeitgleich von allen aktiven Graphikclients durchgeführt. Synchron bedeutet hier, dass nur der Übergang in ein neues Verfahrensstadium (Teilbildberechnung, Bildwechsel) von allen Graphikclients zeitgleich durchgeführt wird.

Beide Flussdiagramme stellen Prozesszyklen dar, die wiederholt ausgeführt werden, solange keine anders lautenden Befehle von außen in den Ablauf eingreifen. Die Durchführung dieser Zyklen kann von außen gestartet und beendet werden, und zwar durch den Synchronisationsmaster und die Synchronisationsclients. Der Aufruf des Prozesszyklus auf dem Graphikmaster erfolgt beispielsweise mit dem Schritt M16 aus Figur 7. Die Durchführung des Zyklus auf einem Graphikclient 94 wird beispielsweise unterbrochen, wenn der mit ihm verbundene Synchronisationsclient 100 über den zweiten Kanal 80 eine "Szenengraph-Laden" Nachricht empfängt.

Der Prozesszyklus des Graphikmasters 88 weist zunächst einen Schritt M18 auf, mit dem eine Update-Nachricht zugleich an alle Graphikclients 94 gesendet wird. Das Übersenden dieser Nachricht auf dem ersten Kanal 82 ist durch einen Pfeil P14 symbolisiert, der vom Schritt M18 auf einen Schritt C20 weist, in dem der Graphikclient 94 den Eingang seiner Schnittstelle zum ersten Kanal 82 überwacht. Nach Empfang der Update-Nachricht führen alle Graphikclients in einem Schritt C22 die Berechnung ihres jeweiligen Teilbildes der nächsten anzuseigenden Szene durch. Nach Durchführung dieser Schritts sendet jeder Graphikclient in einem Schritt C24 eine "Berechnen-Fertig"-Nachricht an den Graphikmaster. Wiederum ist das Übersenden dieser Nachricht durch einen Pfeil P16 angedeutet, der auf einen Schritt M20 des Graphikmasters weist. Mit diesem Schritt wartet der Graphikmaster 88 das Eintreffen der "Berechnen-Fertig"-Nachrichten von allen aktiven Graphikclients ab. Erst wenn er diese Nachricht von allen Graphikclients erhalten

hat, sendet der Graphikmaster mit einem Schritt M22 eine "Bild-Wechseln"-Nachricht über den ersten Kanal an alle Graphikclients (Pfeil P18). Diese warten das Eintreffen dieser Nachricht mit einem Schritt C26 ab. Unmittelbar nach dem Eintreffen der Nachricht veranlassen die Graphikclients 88 mit einem Schritt C28 einen Bildwechsel durch Ausgabe der berechneten Bilddaten ihres jeweiligen Teilbildes an die jeweilige Graphikrecheneinheit 98, die den zugeordneten Projektor zur Projektion des Teilbildes ansteuert. Anschließend springen die Graphikclients zurück zu Schritt C20. Der Graphikmaster geht unmittelbar nach Schritt M22 zur Berechnung des nächsten Bildes über, um anschließend zu Schritt M18 zurück zu springen.

Ist der Graphikclient bei der Bildberechnung langsamer als der Graphikmaster, wird die Update-Nachricht aus einem Message-Buffer entnommen. Die Updates werden übernommen, danach wird eine Rückmeldung an den Graphikmaster geschickt und auf die Bildumschalten-Nachricht gewartet. Wenn diese eintrifft, wird zum zuletzt berechneten Bild umgeschaltet.

Figur 9 zeigt einen alternativen Prozessablauf, der sich von dem in Figur 8 dargestellten darin unterscheidet, dass in einem Schritt M26 die Graphikmastereinheit 88 eine kombinierte Update und Bildwechselnachricht sendet. Anschließend berechnet die Graphikmastereinheit in einem Schritt M28 die Feldwerte der aktuell geladenen Szenengraphdatei neu. Auf das Eintreffen der "Berechnen-Fertig"-Nachricht von allen Graphikclients hin (M30) wird die nächste Update- und Bildwechselnachricht gesendet (M24). Die Graphikclenteinheit berechnet nach dem Eintreffen der Update- und Bildwechselnachricht ihr Teilbild (C30), signalisiert der Graphikmastereinheit danach den Abschluss der Bildberechnung (C32) und gibt dann die Bilddaten des berechneten Teilbildes aus (C32). Gegenüber dem Verfahren nach Figur 8 entfallen im Prozess der Graphikclenteinheit Schritte des Abwartens des Eingangs von Nachrichten von der Graphikmastereinheit her.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, mit mindestens einem Signaleingang, der mit einem externen Eingabegerät (44, 46, 48) verbindbar ist, einem ersten Nachrichtenkanal (82) einer Graphikmastereinheit (88), die einen ersten Schreiblesespeicher (86) aufweist, der ausgebildet ist zur Aufnahme einer ersten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, mit dem Signaleingang verbunden ist, über eine erste Nachrichtenschnittstelle (89) für ein- und ausgehende Nachrichten mit dem ersten Nachrichtenkanal (82) verbunden ist, und die ausgebildet ist zum Neuberechnen und Abspeichern der Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs und zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle (89), wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der neu berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält, mindestens zwei Graphikclienteinheiten (94), wobei jede Graphikclienteinheit jeweils einen zweiten Schreiblesespeicher (96) aufweist, der ausgebildet ist zur Aufnahme einer zweiten Szenengraphdatei über eine zweite Nachrichtenschnittstelle (95) für ein- und ausgehende Nachrichten mit dem ersten Nachrichtenkanal (82) verbunden ist, einen Bilddatenausgang aufweist, und ausgebildet ist zum Empfangen aktueller Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95) und zum Abspeichern der empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei, zum Berechnen von Bilddaten eines Bildes (72) in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit (88) über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95), die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert, sowie zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit (88) zusätzlich ausgebildet ist zum Erzeugen einer dritten Nachricht und zum Senden der dritten Nachricht an jede Graphikclienteinheit (94) nach dem Empfang der zweiten Nachricht von jeder Graphikclienteinheit (94) her und jede Graphikclienteinheit (94) zusätzlich ausgebildet ist zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang nach dem Empfang der dritten Nachricht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit Schreib- und Lesezugriff auf einen dritten Schreiblesspeicher (84) hat, der mit dem zweiten Schreiblesspeicher (86) verbunden ist und in dem mindestens eine Szenengraphdatei abgelegt ist, wobei jeder im dritten Schreiblesspeicher enthaltenen Szenengraphdatei je eine Speicheradresse und/oder eine Szenengraphkennzahl zugeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen zweiten Nachrichtenkanal (80) der Graphikmastereinheit zugeordnet eine Synchronisationsmastereinheit (92) die mit der Graphikmastereinheit (88) verbunden ist, die eine dritte Nachrichtenschnittstelle (93) für ein- und ausgehende Nachrichten aufweist, die sie mit dem zweiten Nachrichtenkanal (80) verbindet, und die ausgebildet ist zum Erzeugen einer vierten Nachricht, in der die Speicheradresse einer Szenengraphdatei und/oder die Szenenkennzahl der Szenengraphdatei enthalten ist sowie zum Senden der vierten Nachricht über die dritte Nachrichtenschnittstelle (93), jeder Graphikclienteinheit (94) zugeordnet je eine Synchronisationsclienteinheit (100), die mit der zugeordneten Graphikclienteinheit (94) verbunden ist die eine vierte Nachrichtenschnittstelle (101) aufweist, welche sie mit dem zweiten Nachrichtenkanal (80) verbindet, und die ausgebildet ist zum Empfang der vierten Nachricht an der vierten Nachrichtenschnittstelle (101) und zum anschließenden Veranlassen des Ladens der in der vierten Nachricht definierten Szenengraphdatei in den zweiten Datenspeicher (96), sowie zum Erzeugen und Senden einer fünften Nachricht, die den Abschluss des Ladens der Szenengraphdatei signalisiert, an die Synchronisationsmastereinheit (92) über die vierte Nachrichtenschnittstelle (101).

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationsmastereinheit bzw. die Synchronisationsclienteinheit zusätzlich ausgebildet sind zum Erzeugen einer ersten Testnachricht bzw. einer zweiten Testnachricht zum Erzeugen einer ersten Testantwortnachricht nach Empfang der zweiten Testnachricht an der dritten Nachrichtenschnittstelle bzw. zum Erzeugen einer zweiten Testantwortnachricht nach Empfang der ersten Testnachricht an der vierten Nachrichtenschnittstelle, zum Senden der jeweiligen Test- und Testantwortnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal (80).
6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit zur Echtzeitberechnung der Objekt- und Ereignisparameter rund die Graphikclienteinheit zur Echtzeit-Bilddatenberechnung ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikclienteinheit und die Graphikmastereinheit als Browser für das Dateiformat VRML, Inventor, Performer und/oder X3D ausgebildet sind.
8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch jeder Graphikclienteinheit (94) zugeordnet je eine Graphikrecheneinheit (98), die einen Dateneingang für Bilddaten aufweist, über den sie mit der zugeordneten Graphikclienteinheit (94) verbunden ist, die einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes aufweist, und die ausgebildet ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine Teilbildumschalteinheit (102) für je zwei Graphikclienteinheiten (22, 24), mit einem Signaleingang, mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, der je einer Graphikclienteinheit (94) zugeordnet ist, einem ersten (104) und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher (106), der mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist einem Bilddatenausgang für jedes Paar von erstem und zweitem Bilddaten-

eingang, die ausgebildet ist, zum Ausgeben der Bilddaten entweder des ersten oder des zweiten Bilddatenzwischenspeichers über den Bilddatenausgang in Abhängigkeit vom Zustand des Signaleingangs, und mit einer Schaltsteuereinheit, die ausgangsseitig mit dem Signaleingang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben mindestens eines Steuersignals mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch eine Graphikrecheneinheit, die mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist, die einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes aufweist, und die ausgebildet ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang.
11. Graphikmastermodul (), mit mindestens einem Signaleingang, der ausgebildet ist zum Empfang von Signalen eines externen Eingabegeräts (44, 46, 48), einer ersten Nachrichtenschnittstelle, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Nachrichten, einem ersten Schreiblesespeicher (86) zur Aufnahme mindestens einer Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, Bildparameterberechnungsmitteln, die mit dem ersten Schreiblesespeicher und dem Signaleingang sowie mit der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind und die ausgebildet sind zum Berechnen von Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs, sowie Mastersteuermitteln, die mit den Bildberechnungsmitteln und der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind, und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle (89), wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält.

12. Graphikmastermodul nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch eines oder mehrere zusätzliche Merkmale der Graphikmastereinheit (88) in den Ansprüchen 2 bis 10.
13. Graphikclientmodul, mit einer zweiten Nachrichtenschnittstelle (95), die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Daten, einem zweiten Schreiblesespeicher (96) zur Aufnahme mindestens einer zweiten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, einem Bilddatenausgang, und Bilddatenberechnungsmitteln, die mit der zweiten Nachrichtenschnittstelle und dem zweiten Datenspeicher verbunden sind und ausgebildet sind zum Abspeichern der an der zweiten Nachrichtenschnittstelle empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei, zum Erzeugen von Bilddaten eines Bildes (72) in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, zum Ausgeben der erzeugten Bilddaten am Bilddatenausgang Clientsteuermitteln, die mit der Nachrichtenschnittstelle und mit den Bilddatenberechnungsmitteln verbunden sind und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit (88) über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95), die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert.
14. Graphikclientmodul nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eines oder mehrere zusätzliche Merkmale der Graphikclienteinheit (94) in den Ansprüchen 2 bis 10.
15. Bildumschaltmodul, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, jedem Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang zugeordnet einem Bilddatenausgang, einem ersten und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der dem ersten bzw. dem zweiten Bilddateneingang zugeordnet ist der eingangsseitig mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist und ausgebildet ist zum Speichern von Bilddaten und zum Ausgeben gespeicherter Bilddaten über den zugeordneten Bilddatenausgang auf ein erstes bzw. zweites Steuersignal hin, einer Schaltsteuereinheit, die einen Signalausgang hat, über den sie mit

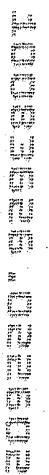
dem ersten und dem zweiten Bilddatenzwischenspeicher verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben des ersten und des zweiten Steuersignals in abwechselnder Folge mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

16. Bildumschaltmodul nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltsteuereinheit zur zusätzlichen Abgabe des ersten und des zweiten Steuersignals in Form elektromagnetischen Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, ausgebildet ist.
17. Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit mindestens einer Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), die ausgebildet ist zur polarisationserhaltenden Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt, zwei einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektoren (14, 16, 18, 20) als Bildwiedergabegeräten, die jeweils einen Steuereingang aufweisen und die ausgebildet sind zum Umsetzen jeweils einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in jeweils ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes unter Verwendung polarisierten Lichts, wobei die Polarisation des von den zwei Projektoren jeweils verwendeten Lichts unterschiedlich orientiert ist, und die angeordnet sind zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die zugeordnete Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe nach Anspruch 8, die jedem Lichtbildprojektor zugeordnet je eine Graphikrecheneinheit (98) aufweist, wobei der Signalausgang der jeweiligen Graphikrecheneinheit mit dem Steuereingang des jeweiligen Lichtbildprojektors verbunden ist, und wobei jede Graphikclienteinheit ausgebildet ist zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken oder rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

18. Anordnung nach einem der Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektoren je einen Polarisator aufweisen und die Polarisatoren für linear polarisiertes Licht mit senkrecht zu einander stehenden Schwingungsrichtungen durchlässig sind.
19. Anordnung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektoren rechts- bzw. linkszirkular polarisiertes Licht emittieren.
20. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, gekennzeichnet durch zwei senkrecht zueinander stehende Streuflächen (38, 40), die zur Rückstreuung von Licht ausgebildet sind.
21. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Streuflächen metallisch sind
22. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, gekennzeichnet durch eine Analysatorbrille für einen Betrachter, mit zwei Gläsern, wobei das dem linken Auge des Betrachters zugeordnete Glas für Licht undurchlässig ist, das der bzw. die Lichtbildprojektoren emittieren, der das Teilbild für das rechte Auge projizieren, und das dem rechten Auge des Betrachters zugeordnete Glas für Licht undurchlässig ist, das der bzw. die Lichtbildprojektoren emittieren, der das Teilbild für das linke Auge projizieren.
23. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 22, gekennzeichnet durch fünf senkrecht zu einander stehende Streuflächen auf einem Boden derart, dass die Streuflächen und der Boden einen etwa kubischen Hohlraum begrenzen, und durch zwei linear polarisiertes Licht emittierende Lichtbildprojektoren für jede Streufläche, die die jeweilige Streufläche von außerhalb des Hohlraumes beleuchten, wobei die Streuflächen das einfallende Licht in den Halbraum hinter der jeweiligen Streufläche streuen.
24. Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit mindestens einer Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), die ausgebildet ist zur Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder

vor oder hinter der Streufläche erstreckt, mindestens einem einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektor (14, 16, 18, 20) als Bildwiedergabegerät, der einen Steuereingang aufweist und der ausgebildet ist zum Umsetzen einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des Rasterlichtbildes, und der angeordnet ist zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe nach Anspruch 9 oder 10, die jedem Lichtbildprojektor zugeordnet eine erste und eine zweite Graphikclienteinheit (98) aufweist, wobei der Bilddatenausgang der jeweiligen Graphikclienteinheit mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist, und wobei die erste bzw. zweite Graphikclienteinheit ausgebildet ist zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken bzw. rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

25. Anordnung nach Anspruch 24, gekennzeichnet durch zwei senkrecht zu einander stehende Streuflächen (38, 40).
26. Anordnung nach Anspruch 24, gekennzeichnet durch 5 senkrecht zu einander stehende Streuflächen auf einem Boden derart, dass die Streuflächen und der Boden einen etwa kubischen Hohlraum begrenzen, durch einen Lichtbildprojektor für jede Streufläche, der die jeweilige Streufläche von außerhalb des Hohlraumes beleuchtet.
27. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass der bzw. die Lichtbildprojektoren (14, 16, 18, 20) LCD- oder DLP Projektoren sind.
28. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 27, gekennzeichnet durch eine mit dem Graphikmaster verbundene PC-Soundkarte, durch einen mit ihr verbundenen Audio-Verstärker und durch mindestens zwei mit dem Audioverstärker verbundene Lautsprecher.

- 
29. Anordnung nach einem der Anspruch 17 bis 28, mit einer ersten und einer zweiten ebenen Streufläche, wobei die von den Streuflächen aufgespannten Ebenen einen Winkel einschließen, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Streufläche mit einander zugewandten Rändern an eine dritte ebene Streufläche angrenzen derart, dass die dritte Streufläche an die erste und zweite Streufläche jeweils unter stumpfen Winkel anschließt.
  30. Anordnung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittgeraden der von den drei Streuflächen aufgespannten Ebenen parallel zu einander verlaufen.
  31. Anordnung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittgeraden der ersten und der zweiten Ebene mit der dritten Ebene jeweils den gleichen Abstand von der Schnittgeraden der ersten mit der zweiten Ebene aufweisen.
  32. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Ebene einen stumpfen oder rechten Winkel einschließen.
  33. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Streufläche eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweist.
  34. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 34 sowie Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jede Graphikclienteinheit ausgebildet ist zur Berechnung und Ausgabe jeweils mindestens zweier Teilbildteile (74, 76) derart, dass ein erster Teilbildteil (74) auf der ersten oder zweiten Projektionsfläche (38, 40) für einen Betrachter von mindestens einer Position aus verzerrungsfrei erscheint und dass ein zweiter Teilbildteil (76) auf der dritten Projektionsfläche von derselben Position aus verzerrungsfrei erscheint.
  35. Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes, bei dem die Teilbilder in Form digitaler Teilbilddaten in Abhängigkeit von Bildparameterwerten und/oder aktuel-

len Eingangssignalen zyklisch neu berechnet werden und die Teilbilddaten nach jedem Berechnungszyklus ausgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig ein Masterprozess und für jedes Teilbild je ein Clientprozess durchgeführt werden, wobei der Masterprozess folgende Schritte aufweist:

Neuberechnen von Bildparameterwerten (M24) in Abhängigkeit von vorhandenen Bildparameterwerten und/oder von aktuellen Eingangssignalen; Senden mindestens eines Teils der neu berechneten Bildparameterwerte an alle Clientprozesse (M18);

Abwarten des Empfangs von Bereitschaftssignalen von allen Clientprozessen her (M20) und der jeweilige Clientprozess folgende Schritte aufweist:

Empfangen der neu berechneten Bildparameterwerte vom Masterprozess her (C20), nach dem Empfangen der Bildparameterwerte Berechnen des jeweiligen Teilbildes in Form digital kodierter Bilddaten (C22), Senden eines jeweiligen Bereitschaftssignals an den Masterprozess (C24), Ausgeben des jeweiligen Teilbildes (C28).

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der Masterprozess zusätzlich einen Schritt des Sendens eines Bildwechselsignals an alle Clientprozesse (M22) nach Empfang aller Bereitschaftssignale und der Clientprozess zusätzlich einen Schritt des Abwartens des Empfangs des Bildwechselsignals vom Masterprozess her (C26) aufweist.
37. Verfahren nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildparameter in Abhängigkeit von dem Masterprozess von extern übergebenen Eingabedaten berechnet werden.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Masterprozess nach dem Empfang des Bereitschaftssignals von allen Clientprozessen her zum Berechnen der Bildparameterwerte (M24) eines neuen Bildes zurückspringt und der Clientprozess nach dem Bildwechseln zum Empfangen der Bildparameterwerte vom Masterprozess her (C20) zurückspringt.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur synchronen Wiedergabe zeitlicher Bildabfolgen durch mindestens zwei Bildwiedergabegeräte. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Master-Client-Struktur auf. Eine Graphikmastereinheit (88) und mindestens zwei Graphikclients (94) sind über einen ersten Nachrichtenkanal (82) miteinander verbunden und tauschen über den ersten Nachrichten aus, mit Hilfe derer die Berechnung und Projektion der Teilbilder synchronisiert wird.

Figur 5